

# AGROECOLOGÍA

## Teoría y práctica para una agricultura sustentable

*1ª edición*

**Miguel Altieri**  
**Clara I. Nicholls**



**Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental**

Primera edición: 2000

© Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente  
Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe  
Boulevard de los Virreyes 155, Colonia Lomas de Virreyes  
11000, México D.F., México

ISBN 968-7913-04-X

## CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b>	5
<b>INTRODUCCIÓN</b>	7
<b>Capítulo 1</b>	
BASES AGROECOLÓGICAS PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE	13
<b>Capítulo 2</b>	
UN ENFOQUE AGROECOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLES PARA LOS CAMPESINOS ANDINOS	45
<b>Capítulo 3</b>	
DEFINIENDO UNA ESTRATEGIA DE MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES (MRN) PARA AGRICULTORES POBRES	99
<b>Capítulo 4</b>	
LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DE LA AGRICULTURA MODERNA Y LAS POSIBILIDADES DE UNA AGRICULTURA VERDADERAMENTE SUSTENTABLE	113
<b>Capítulo 5</b>	
LOS MITOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: ALGUNAS CONSIDERACIONES ÉTICAS	125
<b>Capítulo 6</b>	
RIESGOS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS	135
<b>Capítulo 7</b>	
CONTROL BIOLÓGICO EN AGROECOSISTEMAS MEDIANTE EL USO DE INSECTOS ENTOMÓFAGOS	147

<b>Capítulo 8</b>	
BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE PLAGAS EN AGROECOSISTEMAS	167
<b>Capítulo 9</b>	
AGRICULTURA TRADICIONAL Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	181
<b>Capítulo 10</b>	
DIMENSIONES MULTIFUNCIONALES DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN AMÉRICA LATINA	193
<b>Bibliografía</b>	235

# PRESENTACIÓN

La formación ambiental es la construcción de nuevos saberes y prácticas que permitan comprender y resolver los complejos problemas socioambientales de nuestro tiempo, así como construir una nueva racionalidad para transitar hacia el desarrollo sustentable. En este sentido, la formación ambiental implica la elaboración de nuevas teorías, métodos y técnicas, su incorporación en los programas curriculares en la educación formal, y su difusión a un amplio grupo de actores, que tanto en el campo académico como en el de la gestión pública y de la empresa privada, en el terreno de la producción y de la acción ciudadana, son responsables de la gestión ambiental del desarrollo sustentable.

Los cambios ambientales han adquirido una dimensión global; sin embargo, los problemas socioambientales se caracterizan por su especificidad regional y local, ecológica y cultural, económica y política. Las estrategias de la globalización y del desarrollo sostenible están siendo definidas sin un diagnóstico suficiente de los problemas ambientales y sin incorporar propuestas alternativas basadas en las prioridades de los países de la región. Asimismo, la mayor parte del conocimiento sobre los temas ambientales emergentes se produce en los centros de investigación y desarrollo tecnológico del “norte” produciéndose una pérdida de capacidad de autodeterminación científica y tecnológica para alimentar las políticas de desarrollo sustentable de nuestros países; más aún, la literatura especializada no es fácilmente disponible y su incorporación a los programas educativos se da con retrasos que implican un rezago de los programas de formación ambiental. Todo ello está limitando la capacidad endógena de los países de la región para enfrentar los problemas de la sustentabilidad con un conocimiento propio de su problemática ambiental.

Respondiendo a este reto, el programa editorial de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe del PNUMA está orientado a construir, sistematizar y difundir conocimientos, saberes, métodos y técnicas para la gestión ambiental, que sirvan como materiales básicos para los programas de formación ambiental y como un instrumento para apoyar las políticas de desarrollo sustentable de la región en los diferentes niveles de gobierno, así como para capacitar a los diferentes sectores sociales, tanto en los niveles profesionales como en las acciones ciudadanas y los programas de desarrollo comunitario.

En este cuarto título de la serie Textos Básicos para la Formación Ambiental, Miguel Altieri y Clara Nicholls abordan uno de los problemas socioambientales más críticos de esta región y del mundo: la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. La capitalización de la agricultura, la privatización del campo, la Revolución Verde y la producción de cultivos transgénicos, al tiempo que han propiciado un incremento en la productividad agrícola, han generado graves procesos de contaminación y erosión de los suelos, pérdida de la productividad ecológica sustentable de las tierras, así como pobreza y marginación de los campesinos y de la población rural del tercer mundo. La sustentabilidad agrícola, la seguridad alimentaria y biológica, el alivio de la pobreza y la autogestión productiva de las poblaciones campesinas requieren nuevas estrategias productivas capaces de conjugar todos esos objetivos.

Con la colaboración de Clara Inés Nicholls, este texto recopila y sistematiza estudios y publicaciones recientes de Miguel Altieri, pionero en este nuevo campo del conocimiento y promotor de las prácticas de la agroecología. Como autor de varios libros y artículos seminales sobre el tema, y socio fundador del Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo (CLADES) y del proyecto “Sustainable Agriculture Networking and Extension” (SANE), a lo largo de la última década Altieri ha promovido un amplio proceso de formación profesional y capacitación de técnicos, líderes y capacitadores campesinos en diferentes países de América Latina y el Caribe, algunos de ellos con el apoyo de la Red de Formación Ambiental del PNUMA.

El libro aborda muchos de los temas más críticos de la sustentabilidad agrícola, desde el análisis de los conocimientos y las prácticas tradicionales de las poblaciones rurales de América Latina, hasta los impactos ecológicos de la agricultura moderna, los mitos de la biotecnología y los riesgos de los cultivos transgénicos: dependencia tecnológica, erosión genética, riesgo biológico, pérdida de autonomía de las poblaciones rurales y campesinas. Desde ese diagnóstico plantea una estrategia de manejo sustentable de los recursos naturales para los agricultores pobres, exponiendo los principios ecológicos y culturales, las bases metodológicas y los saberes técnicos para conducir una práctica agroecológica para el desarrollo sustentable de los países de la región.

Enrique Leff  
Coordinador  
Red de Formación Ambiental para  
América Latina y el Caribe

# INTRODUCCIÓN

Al fin del siglo xx existen signos de tendencias que dominaran no solo que, cuanto y como se producirá en la agricultura, sino también que se investigara y enseñada, como, por y para quien. Aunque hay muchas fuerzas que determinaran esto, se podría afirmar que las principales son:

a. La emergencia prevalente del sector privado como actor en la investigación, y la dominancia del mercado agrícola y tecnológico por un conglomerado de corporaciones que, combinado a un monopolio de patentes, tienen un control sin precedentes sobre la base biológica de la agricultura y el sistema alimentario en general. Los sistemas actuales de derecho de protección de propiedad tienden a incrementar el costo de transferencia tecnológica norte-sur y pueden dejar a los países de la región tropical americana literalmente fuera del ámbito del acceso al conocimiento.

b. La apertura de la economía mundial conjuntamente con la liberación arancelaria traerá consigo la posibilidad de que los agricultores puedan vender en mercados hasta ahora inaccesibles. Al no existir subsidios directos, los precios agrícolas podrían aumentar y la primera ventaja sería para los países con pocos subsidios agrícolas actuales. Pero por el otro lado, el proceso de globalización que con la ratificación del OMC en diciembre de 1999, obligará aún más a los países latinoamericanos a reducir los niveles de protección para los productos domésticos y eliminar barreras para la importación ilimitada de productos agrícolas transgénicos. Este proceso de liberalización y de integración de mercados ignora las necesidades de la gente pobre que los mercados no pueden satisfacer, ni tampoco se vislumbra que beneficiara a los miles de pequeños productores de la región. Es claro que los ganadores serán los grandes agricultores y empresas que logren elevar su eficiencia y competitividad para participar con éxito en los mercados mundiales.

c. La difusión de la biotecnología como paradigma tecnológico prioritario, desplazando a otros enfoques más integradores y holísticos y la siembra masiva de cultivos transgénicos que si no son regulados, desencadenaran un proceso con efectos socioeconómicos y ambientales más dramáticos que los experimentados con la Revolución Verde.

d. La dominancia del Internet y otros medios modernos de información pueden abrir una avenida importante para el desarrollo agrícola basado en el conocimiento, siempre y cuando se resguarde que estos medios no solo beneficien a aquellos con acceso a capital y a la tecnología, dejando fuera del conocimiento a miles de pobres. No hay duda que el conocimiento científico de punta será cada vez más costoso, restringido y poderoso. Esto llama al fortalecimiento de las instituciones públicas dedicadas a la ciencia y la tecnología, para que favorezcan el libre flujo de información de difícil acceso por otras vías asequibles a los miles de agricultores de menores recursos.

Es importante considerar que estas tendencias se darán en el contexto de países donde predomina una población de pequeños campesinos, con grandes niveles de pobreza rural, distribución inequitativa de la tierra y con problemas ambientales agrícolas de primer grado, producto, por un lado del uso indiscriminado de tecnología moderna y por otro como consecuencia de que los pobres por la misma inequidad de la situación se transforman en agentes de degradación ambiental. Todo esto considerando que los niveles de pobreza y hambre no disminuirán en el futuro cercano, sino que más bien aumentarán de acuerdo a las predicciones. Cabe recordar que en 1994, 73 millones de los 123 que habitaban en las zonas rurales de LAC, vivían en la pobreza, lo que representaba el 61 % de la población. Estas cifras, muy altas en relación al resto del mundo, tenderán a agravarse.

Es claro es que a fines del siglo xx la modernización agrícola no ha ayudado a solucionar el problema generalizado de la pobreza rural ni ha mejorado la distribución de la tierra agrícola. Los pequeños agricultores, que representan en promedio el 80% del total de los agricultores de LAC, quedaron al margen del desarrollo, debido a que las opciones que se han ofrecido para modernizar la agricultura han sido inadecuadas a sus necesidades y posibilidades. Los proyectos que impulsaron la diversificación de la agricultura de exportación lograron que el uso de la tierra se destinara a los cultivos de exportación desplazando la producción de granos para el consumo doméstico. La integración de los países tropicales al mercado internacional ignora las necesidades de los mercados locales-regionales y socavan las oportunidades de mejorar la balanza de pagos regionales a través de un programa de seguridad alimentaria que podría establecer las bases para reducir la pobreza masiva y crear un modelo más equitativo y sustentable de desarrollo.

Dado este breve análisis, como se espera que estas megatendencias, afectaran la priorización de la investigación y enseñanza agrícola y en recursos natu-



rales de instituciones públicas ? Para responder esto es necesario examinar la situación en relación a la misión estratégica de muchas universidades e institutos de investigación de fomentar y promover la investigación y enseñanza agrícola destinadas al desarrollo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales de Latino América, para mejorar el bienestar de las poblaciones urbanas y rurales. El objetivo general plantea que los mayores esfuerzos se dediquen para solucionar la problemática socioeconómica y agroecológica del sector rural de la región. En países donde los problemas son : pobreza rural ( y urbana, muchas veces dada la migración del campo a la ciudad), degradación de los recursos naturales, inequidad en el acceso a la tierra y otros recursos productivos, tecnologías inapropiadas, etc., es necesario que las instituciones públicas lleven a cabo su misión haciendo una contribución real a:

- a) la reducción de la pobreza
- b) manejo ecológico de recursos productivos ubicados en ecosistemas frágiles
- c) seguridad y autosuficiencia alimentaria a nivel local y regional
- d) conservación de los recursos naturales incluyendo la agrobiodiversidad
- e) transformación de las comunidades rurales pobres en actores sociales capaces de potenciar su propio desarrollo
- f) fomentar políticas que favorezcan el desarrollo sustentable

Muchas instituciones se han forjado un nicho al adoptar el lema de «producir conservando y conservar produciendo»; lo importante es que se aclare que no se trata de un intento más de cómo encajar la cuestión ambiental dentro de regímenes agrícolas ya establecidos, sino de buscar una sinergia real entre ecología, economía y ciencias silvoagropecuarias. Concretar esta visión significará reorientar la investigación y la enseñanza agrícola para enfrentar los desafíos de la gran masa de campesinos pobres y sus ecosistemas frágiles, pero asegurando también la sustentabilidad de las áreas intensivas de producción. Para esto será necesario introducir una racionalidad ecológica en la agricultura para minimizar el uso de insumos agroquímicos, complementar los programas de conservación de agua, suelos y biodiversidad, planificar el paisaje productivo en función de las potencialidades de los suelos y cada ecorregión, y promover el manejo sustentable de bosques y otros recursos renovables y no renovables.

La misión crucial de las instituciones públicas del agro deberá centrarse en asegurar que los pobres no sean excluidos de los beneficios del desarrollo. Esto

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

significa que la equidad debe llegar a las comunidades rurales a través de oportunidades reales, para que estas mismas puedan protagonizar la solución de sus problemas. Ofrecer oportunidades significa reivindicar la inventiva tradicional y la organización-participación local y también poner a disposición de todos los estratos de agricultores alternativas tecnológicas (muchas de ellas originadas por los propios campesinos) que sean compatibles con los recursos de que ellos disponen y capacitación para que sepan aplicarlas y difundirlas para el escalonamiento de la agricultura sostenible. El logro de la autosuficiencia alimentaria y la conservación de los recursos naturales en las miles de comunidades rurales del trópico americano es un pre requisito para el desarrollo sostenible, pero no significa que no sean necesarios esfuerzos para brindar opciones a los muchos pequeños agricultores con poco capital para elevar su eficiencia y competitividad para acceder con éxito a los mercados locales, regionales y mundiales y así elevar sus ingresos. La cuestión es como balancear las necesidades y oportunidades sin que los agricultores pierdan su autonomía, organización, cultura y recursos naturales.

Para contribuir efectivamente en las tareas del futuro las instituciones oficiales deberán formar alianzas estrategias con otras instituciones incluyendo a ONG y organizaciones campesinas, de manera de articular en forma efectiva su accionar en la coordinación de políticas agrícolas y ecológico/económicas adecuadas relacionadas con aspectos de importancia para los pequeños agricultores tales como precios justos y mercados solidarios, distribución y acceso a la tierra y otros recursos, asistencia técnica adecuada, etc.

No hay duda que para que las instituciones publicas definan claramente su agenda de investigación y enseñanza frente a las megatendencias actuales, estas instituciones junto a sus socios y beneficiarios, deberán abordar una profunda reflexión sobre temas tan trascendentales como:

- a) El papel de la agricultura en el desarrollo económico de la región y su papel en la conservación de los recursos naturales. En otras palabras ¿cuál es el papel multifuncional de la agricultura como generadora de bienes económicos y servicios ecológicos?
- b) El impacto de la apertura económica y la globalización sobre la sustentabilidad agrícola
- c) La importancia de programas de reforma agraria en lo que se refiere a los problemas de equidad, pobreza y productividad, y en especial en relación a lo que se refiere a las tendencias que favorezcan la gran escala a costa

*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

de la pequeña propiedad.

- d) La importancia de incentivos y programas de apoyo a los pequeños agricultores para crear las oportunidades económicas y el acceso a la información y recursos y tecnologías apropiadas para mejorar la productividad de la pequeña finca.
- e) El papel de programas de desarrollo rural como vehículo para alcanzar una mejor calidad de vida a través de la generación de ingresos y empleos, nutrición, salud, educación y otros beneficios sociales.
- f) La importancia de la producción para la exportación vs. la producción para fines locales y/o regionales.
- g) El énfasis en enfocar los esfuerzos tecnológicos sobre las tierras favorables vs. los ambientes mas frágiles y/o marginales.
- h) El papel de la ayuda internacional y el rol del sector privado vs. el público como impulsores del desarrollo sustentable.

Solo una consulta amplia que incluya a todos los actores y beneficiarios, incluyendo donantes asociados al CGIAR y de los institutos nacionales, permitirá definir un camino claro a seguir de manera de llevar a cabo la misión de fomentar una agricultura sustentable en el siglo XXI.



# Capítulo 1

## BASES AGROECOLÓGICAS PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

### INTRODUCCIÓN

Dada la heterogeneidad de los ecosistemas naturales y de los sistemas agrícolas así como la naturaleza diferenciada de la pobreza rural en América Latina, es claro de que no puede existir un tipo único de intervención tecnológica para el desarrollo; las soluciones deben diseñarse de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades, así como las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes. El problema con los enfoques agrícolas convencionales es que no han tomado en cuenta las enormes variaciones en la ecología, las presiones de la población, las relaciones económicas y las organizaciones sociales que existen en la región, y por consiguiente el desarrollo agrícola no ha estado a la par con las necesidades y potencialidades de los campesinos locales. Este desajuste se ha caracterizado por tres aspectos:

- Los paquetes tecnológicos homogéneos no son adaptables a la heterogeneidad campesina y sólo funcionan en condiciones similares a las de los países industriales y a las de las estaciones experimentales.
- El cambio tecnológico benefició principalmente la producción de bienes agrícolas de exportación y comerciales, producidos prioritariamente en el sector de grandes predios, impactando marginalmente la productividad de los productos alimenticios, que son cultivados en gran medida por el sector campesino, y
- América Latina se ha convertido en un importador neto de insumos químicos y maquinaria agrícola, aumentando los gastos de los gobiernos y agravando la dependencia tecnológica.

Con el crecimiento de la población y el incremento de la demanda económica y social que se proyecta para la próxima década, se perfilan dos desafíos

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

cruciales que deberán ser enfrentados por el mundo académico y el mundo del desarrollo:

- Incrementar la producción agrícola a nivel regional en casi un 30-40%, sin agravar aún más la degradación ambiental, y
- Proveer un acceso más igualitario a la población, no sólo a alimentos, sino a los recursos necesarios para producirlos.

Estos desafíos se dan dentro de un escenario de alta disparidad en la distribución de la tierra, de marcados niveles de pobreza rural y de una decreciente y degradada base de recursos naturales. Existe además la experiencia de que la importación de tecnologías de alto insumo para incrementar la producción agrícola no fue una condición suficiente para solucionar los problemas de hambre y pobreza. La totalidad de las revoluciones tecnológicas favorecieron preferentemente al sector agrícola comercial de gran escala y no a la gran masa de campesinos de la región que alcanza casi 9 millones de unidades productivas en las cuales se produce una alta proporción de los cultivos básicos para la nutrición regional.

Al respecto, la problemática contemporánea de la producción ha evolucionado de una dimensión meramente técnica a una de dimensiones más sociales, económicas, políticas, culturales y ambientales. En otras palabras, la preocupación central hoy es la de la sustentabilidad de la agricultura. El concepto de sustentabilidad es útil porque recoge un conjunto de preocupaciones sobre la agricultura, concebida como un sistema tanto económico, social y ecológico. La comprensión de estos tópicos más amplios acerca de la agricultura requieren entender la relación entre la agricultura y el ambiente global, ya que el desarrollo rural depende de la interacción de subsistemas biofísicos, técnicos y socioeconómicos. Este enfoque más amplio, que permite entender la problemática agrícola que en términos holísticos se denomina «agroecología».

### AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA ALTERNATIVA

La disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica se denomina «agroecología» y se define como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de manera más amplia. El enfoque agroecológico considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio; y en estos sistemas, los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados y analizados como un todo. De este modo, a la investigación

agroecológica le interesa no sólo la maximización de la producción de un componente particular, sino la optimización del agroecosistema total. Esto tiende a reenfocar el énfasis en la investigación agrícola más allá de las consideraciones disciplinarias hacia interacciones complejas entre personas, cultivos, suelo, animales, etcétera.

En la medida en que se reconoce la necesidad de trabajar con unidades mayores que el cultivo (por ejemplo una cuenca o una región agrícola) y con procesos (por ejemplo el reciclaje de nutrientes), la especialización científica aparece como una barrera para un entendimiento más integrado. Aun cuando especialistas en varias disciplinas se juntan para estudiar un sistema de producción, la comprensión integral se ve limitada por la falta de un enfoque conceptual común. El paradigma agroecológico provee este enfoque común y permite entender las relaciones entre las varias disciplinas y la unidad de estudio: el agroecosistema con todos sus componentes. Es necesario que los agrónomos comprendan los elementos socioculturales y económicos de los agroecosistemas, y a su vez los científicos sociales aprecien los elementos técnicos y ecológicos de éstos.

«Agricultura alternativa» se define aquí como aquel enfoque de la agricultura que intenta proporcionar un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo sostenidos y control natural de plagas, mediante el diseño de agroecosistemas diversificados y el empleo de tecnologías auto-sostenidas. Las estrategias se apoyan en conceptos ecológicos, de tal manera que el manejo da como resultado un óptimo ciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía, poblaciones balanceadas de plagas y un uso múltiple del suelo y del paisaje. La idea es explotar las complementariedades y sinergias que surgen al combinar cultivos, árboles y animales en diferentes arreglos espaciales y temporales.

Algunas de las prácticas o componentes de sistemas alternativos que ya son parte de manejos agrícolas convencionales, incluyen:

- Rotaciones de cultivos que disminuyen los problemas de malezas, insectos plaga y enfermedades. Aumentan los niveles de nitrógeno disponible en el suelo, reducen la necesidad de fertilizantes sintéticos y, junto con prácticas de labranza conservadoras del suelo, reducen la erosión edáfica.
- Manejo integrado de plagas (MIP), que reduce la necesidad de plaguicidas mediante la rotación de cultivos, muestreos periódicos, registros meteorológicos, uso de variedades resistentes, sincronización de las plantaciones o siembras y control biológico de plagas.

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

- Sistemas de manejo para mejorar la salud vegetal y la capacidad de los cultivos para resistir plagas y enfermedades.
- Técnicas conservacionistas de labranza de suelo.
- Sistemas de producción animal que enfatizan el manejo preventivo de las enfermedades, reducen el uso del confinamiento de grandes masas ganaderas enfatizando el pastoreo rotatorio, bajan los costos debido a enfermedades y enfatizan el uso de niveles subterapéuticos de antibióticos.
- Mejoramiento genético de cultivos para que resistan plagas y enfermedades y para que logren un mejor uso de los nutrientes.

Muchos sistemas agrícolas alternativos desarrollados por agricultores son altamente productivos. Hay ciertas características típicas comunes a todos ellos, como la mayor diversidad de cultivos, el uso de rotaciones con leguminosas, la integración de la producción animal y vegetal, el reciclaje y uso de residuos de cosecha y estiércol, y el uso reducido de productos químicos sintéticos.

### AGROECOLOGÍA Y BIODIVERSIDAD

La agroecología provee las bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura, además del rol que ella puede jugar en el restablecimiento del balance ecológico de los agroecosistemas, de manera de alcanzar una producción sustentable. La biodiversidad promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas; cuando estos se pierden, los costos pueden ser significativos.

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

La agroecología enfatiza un enfoque de ingeniería ecológica que consiste en ensamblar los componentes del agroecosistema (cultivos, animales, árboles, suelos, etc.), de manera que las interacciones temporales y espaciales entre estos componentes se traduzcan en rendimientos derivados de fuentes internas,



reciclaje de nutrientes y materia orgánica, y de relaciones tróficas entre plantas, insectos, patógenos, etc., que resalten sinergias tales como los mecanismos de control biológico. Tres tipos de interacciones suelen explotarse (**Tabla 1**).

**Tabla 1. Integración y sinergias en agroecosistemas**

---

**1. Niveles de integración y diversificación en agroecosistemas**

- Mezcla de cultivos anuales (policultivos y rotaciones)
  - Incorporación de árboles frutales o forestales (sistemas agroforestales)
  - Incorporación de animales (ganado mixto, mezclas cultivo-ganado, etc.)
  - Integración de piscicultura (estanques de peces, etc.)
  - Incorporación de vegetación de apoyo (abono verde, *mulch*, plantas medicinales, etc.)
  - Incorporación de diversidad genética (multilíneas, mezclas de variedades o razas, etc.)
- 

**2. Complementariedades en agroecosistemas**

- Exploración por raíces de diferentes profundidades en el perfil del suelo
  - Utilización diferencial de nutrientes y humedad
  - Utilización diferencial de intensidades de luz y humedad del aire
  - Adaptabilidad diferencial a heterogeneidad edáfica y microclimática
  - Susceptibilidad o tolerancia diferencial a plagas, enfermedades y malezas.
- 

**3. Sinergias en agroecosistemas**

- Creación de microclimas favorables o desfavorables
  - Producción de sustancias químicas para estimular componentes deseados y suprimir componentes indeseables (sustancias aleloquímicas, repelentes, etc.)
  - Producción y movilización de nutrientes (micorrizas, fijación de nitrógeno, etc.)
  - Producción de biomasa para alimento, abono verde o *mulch*
  - Raíces profundas que recuperan y reciclan nutrientes
  - Provisión de cobertura de suelo para conservación de suelo y agua
  - Promoción de insectos benéficos y antagonistas mediante adición de diversidad y materia orgánica
  - Promoción de biología del suelo por adición de materia orgánica y excreciones radiculares.
- 

*Interacciones temporales a nivel de sistemas de cultivo*

Las rotaciones establecen secuencias temporales en las que se obtienen aportes de nitrógeno al rotarse los cultivos de cereales con las leguminosas, o se regulan los insectos, malezas y enfermedades al romper los cultivos en secuen-

cia sus ciclos de vida. Mediante rotaciones bien diseñadas se pueden incrementar los rendimientos y reducir además los requerimientos de energía, al reducir la necesidad de fertilizantes. Por ejemplo, la incorporación de alfalfa en una rotación con maíz puede reducir los aportes de energía en 39%. Muchas rotaciones no requieren mayores modificaciones de los patrones de producción existentes.

*Interacciones espaciales a nivel de sistemas de cultivo*

Los incrementos de rendimientos se derivan de ciertos cambios en los diseños y ordenamientos espaciales y temporales de los sistemas de cultivo, como es el caso de los policultivos universalmente utilizados por los campesinos. Al cultivar varias especies simultáneamente, se obtiene una serie de objetivos de manejo, sin que se requiera mayor subsidio o complementación. Los cultivos intercalados reducen malezas, plagas y enfermedades, mejoran la calidad del suelo y hacen más eficiente el uso del agua y nutrientes, incrementan la productividad de la tierra (**Tabla 2**) y reducen la variabilidad de rendimientos (**Tabla 3**).

**Tabla 2. Ejemplos de policultivos que exhiben mayores rendimientos que los monocultivos correspondientes**

<b>Policultivo</b>	<b>Incremento de rendimientos</b>
maíz seguido de caupi	70%
sorgo seguido de caupi	80%
maíz/arroz	33%
maíz/yuca	15%
yuca/arroz	35%
maíz/arroz/yuca	62%
maíz/frijol	38%
sorgo/frijol	55%
maíz/soya	22%

**Tabla 3. Variabilidad (coeficiente de variabilidad) de rendimientos registrada en policultivos y monocultivos**

	<b>Monocultivo</b>	<b>Policultivo</b>
yuca/frijol	33.0	27.5
yuca/maíz	28.8	18.1
yuca/batata	23.4	13.4
yuca/maíz/frijol	25.0	15.0
maíz/frijol	23.6	22.9
sorgo/guandul	47.0	39.0

*Interacciones a nivel del predio*

El comportamiento de un predio está determinado por el nivel de interacciones entre sus diversos componentes bióticos y abióticos. Las interacciones que mueven el sistema son aquellas en que ciertos productos o resultados de un componente se usan en la producción de otros (por ejemplo, malezas utilizadas como alimento de ganado, estiércol usado como fertilizante en cultivos, rastrojo de cultivos utilizados como mulch y mezclas de estiércol y paja para la composta). La intensidad y beneficio derivados de estas interacciones dependen de lo bien organizados e integrados que estén los diversos componentes, y de un manejo que permita la recirculación de recursos a nivel del predio.

Las interacciones complementarias entre los diversos componentes bióticos pueden ser utilizadas para inducir efectos positivos y directos en el control biológico de plagas específicas de cultivos, en la regeneración y aumento de la fertilidad del suelo y su conservación. La explotación de estas interacciones o sinergias en situaciones reales, involucra el diseño y manejo del agroecosistema y requiere del entendimiento de las numerosas relaciones entre suelos, microorganismos, plantas, insectos herbívoros y enemigos naturales.

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

Al reemplazar los sistemas simples por sistemas diversos o agregar diversidad a los sistemas existentes, es posible ejercer cambios en la diversidad del hábitat que favorecen la abundancia de los enemigos naturales y su efectividad al:

- Proveer huéspedes/presas alternativas en momentos de escasez de la plaga,
- Proveer alimentación alternativa (polen y néctar) para los parasitoides y depredadores adultos.
- Mantener poblaciones aceptables de la plaga por períodos extendidos a manera de asegurar la sobrevivencia continua de los insectos benéficos.

La restauración de la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio se puede lograr mediante el uso de rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, cultivos intercalados, mezclas de cultivo/ganado, etc. Se dispone de diferentes opciones para diversificar los sistemas de cultivo, dependiendo de si los siste-

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

mas de monocultivos a ser modificados están basados en cultivos anuales o perennes. La diversificación puede tomar también lugar fuera de la finca, por ejemplo, en los bordes de los cultivos con barreras cortavientos, cinturones de protección y cercos vivos, los cuales pueden mejorar el hábitat para la vida silvestre y para los insectos benéficos, proveer fuentes de madera, materia orgánica, recursos para abejas polinizadoras y además, modificar la velocidad del viento y el microclima.

Basándose en las teorías ecológicas y agronómicas actuales, se pueden esperar potenciales bajos de plagas en los agroecosistemas que exhiban las siguientes características:

- Alta diversidad a través de mezclas de plantas en el tiempo y en el espacio.
- Discontinuidad del monocultivo en el tiempo mediante rotaciones, uso de variedades de maduración temprana, uso de periodos sin cultivo o periodos preferenciales sin hospederos, etc.
- Campos pequeños y esparcidos en un mosaico estructural de cultivos adyacentes y tierra no cultivada que proporciona refugio y alimentación alternativos para los enemigos naturales. Las plagas también pueden proliferar en estos ambientes, dependiendo de la composición de especies de plantas. Sin embargo, la presencia de bajos niveles poblacionales de plagas y huéspedes alternativos puede ser necesaria para mantener a los enemigos naturales del área.
- Fincas con un componente de cultivo dominante perenne. Los huertos de frutales son considerados ecosistemas semipermanentes y más estables que los sistemas de cultivos anuales. Los huertos frutales sufren menos alteraciones y se caracterizan por una mayor diversidad estructural, especialmente si se estimula una diversidad floral en el suelo basal.
- Altas densidades de cultivo o presencia de niveles tolerables de malezas dentro o fuera del cultivo.
- Alta diversidad genética como resultado del uso de mezclas varietales o de varias líneas del mismo cultivo.

Estas generalizaciones pueden servir en la planificación de estrategias del manejo de la vegetación en los agroecosistemas; sin embargo, ellas deben considerar las variaciones locales del clima, geografía, cultivos, vegetación, complejos de plagas, etc., las cuales podrían aumentar o disminuir el potencial para el desarrollo de las plagas bajo algunas condiciones de manejo de la vegetación.

La selección de la o las especies de plantas puede ser también crítica. Se necesitan estudios sistemáticos sobre la «calidad» de la diversificación vegetal en relación a la abundancia y eficiencia de los enemigos naturales. Lo que parece importar es la diversidad «funcional» y no la diversidad *per se*. Los estudios mecanísticos para determinar los elementos clave de las mezclas de plantas que alteran la invasión de plagas y que favorecen la colonización y el crecimiento poblacional de los enemigos naturales permitirá la planificación más precisa de esquemas de cultivos estables y aumentará las posibilidades de efectos benéficos más allá de los niveles actuales.

#### AGRICULTURA SUSTENTABLE

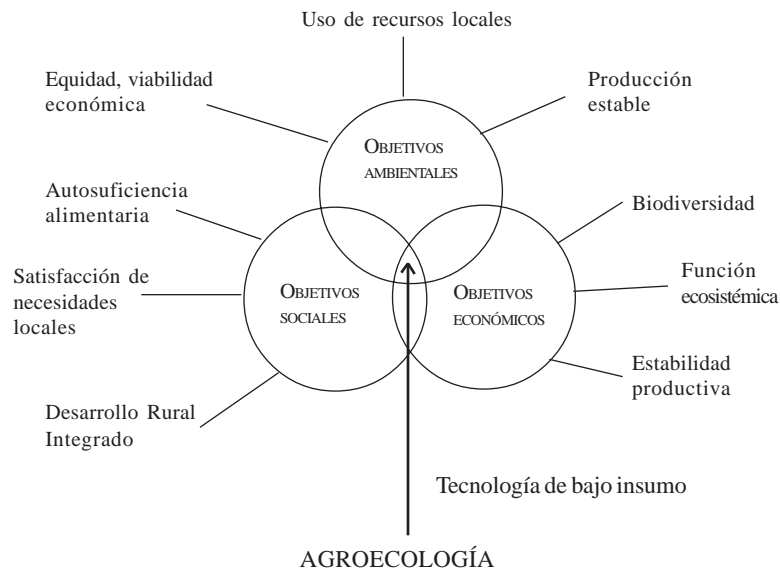
A nivel mundial, está emergiendo un consenso en cuanto a la necesidad de nuevas estrategias de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental. Entre otros, los objetivos que se persiguen son: la seguridad alimentaria, erradicar la pobreza y conservar y proteger el ambiente y los recursos naturales (**Figura 1**). Aunque la agricultura es una actividad basada en recursos renovables y algunos no renovables (petróleo), al implicar la artificialización de los ecosistemas, esta se asocia al agotamiento de algunos recursos. La reducción de la fertilidad del suelo, la erosión, la contaminación de aguas, la pérdida de recursos genéticos, etc., son manifestaciones claras de las externalidades de la agricultura. Además de implicar costos ambientales, estas externalidades, también implican costos económicos. En la medida que la degradación es más aguda, los costos de conservación son mayores. Entonces uno de los desafíos importantes es el de analizar estos costos ambientales como parte del análisis económico que se realiza rutinariamente en actividades agrícolas. La contabilidad ambiental que incluye por ejemplo los costos de erosión, la contaminación por plaguicidas, etc., debiera ser un aspecto crucial del análisis comparativo de diferentes tipos de agroecosistemas.

Existen muchas definiciones de agricultura sustentable. Sin embargo ciertos objetivos son comunes a la mayoría de las definiciones:

- Producción estable y eficiente de recursos productivos.
- Seguridad y autosuficiencia alimentaria.
- Uso de prácticas agroecológicas o tradicionales de manejo.
- Preservación de la cultura local y de la pequeña propiedad.

*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

- Asistencia de los más pobres a través de un proceso de autogestión.
- Un alto nivel de participación de la comunidad en decidir la dirección de su propio desarrollo agrícola.
- Conservación y regeneración de los recursos naturales.



**Figura 1.** El rol de la agroecología en la satisfacción de los objetivos múltiples de la agricultura sustentable.

Es claro que no será posible lograr simultáneamente todos estos objetivos en todos los proyectos de desarrollo rural. Existen intercambios (*trade-offs*) entre los diferentes objetivos, ya que no es fácil obtener a la vez alta producción, estabilidad y equidad. Además, los sistemas agrícolas no existen aislados. Los agroecosistemas locales pueden ser afectados por cambios en los mercados nacionales e internacionales. A su vez, cambios climáticos globales pueden afectar a los agroecosistemas locales a través de sequías e inundaciones. Sin embargo, los problemas productivos de cada agroecosistema son altamente específicos del sitio y requieren de soluciones específicas. El desafío es mantener una flexibilidad suficiente que permita la adaptación a los cambios ambientales y socioeconómicos impuestos desde afuera.

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

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

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

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

- Cubierta vegetal como medida efectiva de conservación del suelo y el agua, mediante el uso de prácticas de labranza cero, cultivos con *mulches*, uso de cultivos de cobertura, etc.
- Suplementación regular de materia orgánica mediante la incorporación continua de abono orgánico y composta y promoción de la actividad biótica del suelo.
- Mecanismos de reciclado de nutrientes mediante el uso de rotaciones de cultivos, sistemas de mezclas cultivos/ganado, sistemas agroforestales y de intercultivos basados en leguminosas, etc.
- Regulación de plagas asegurada mediante la actividad estimulada de los agentes de control biológico, alcanzada mediante la manipulación de la biodiversidad y por la introducción y conservación de los enemigos naturales.

## INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD

Hay una necesidad urgente de desarrollar un conjunto de indicadores de comportamiento (*performance*) socioeconómico y agroecológico para juzgar el éxito de un proyecto, su durabilidad, adaptabilidad, estabilidad, equidad, etc. Estos indicadores de *performance* deben demostrar una capacidad de evaluación interdisciplinaria. Un método de análisis y desarrollo tecnológico no sólo se debe concentrar en la productividad, sino también en otros indicadores del comportamiento del agroecosistema, tales como la estabilidad, la sustentabilidad, la equidad y la relación entre éstos (**Figura 2**). Estos indicadores se definen a continuación.

### 1. Sustentabilidad

Es la medida de la habilidad de un agroecosistema para mantener la producción a través del tiempo, en la presencia de repetidas restricciones ecológicas y presiones socioeconómicas. La productividad de los sistemas agrícolas no puede ser aumentada indefinidamente. Los límites fisiológicos del cultivo, la capacidad de carga del hábitat y los costos externos implícitos en los esfuerzos para mejorar la producción imponen un límite a la productividad potencial. Este punto constituye el «equilibrio de manejo» por lo cual el agroecosistema se considera en equilibrio con los factores ambientales y de manejo del hábitat y produce un rendimiento sostenido. Las características de este manejo balanceado varían con diferentes cultivos, áreas geográficas y entradas de energía y, por lo tanto, son altamente «específicos del lugar».

### 2. Equidad

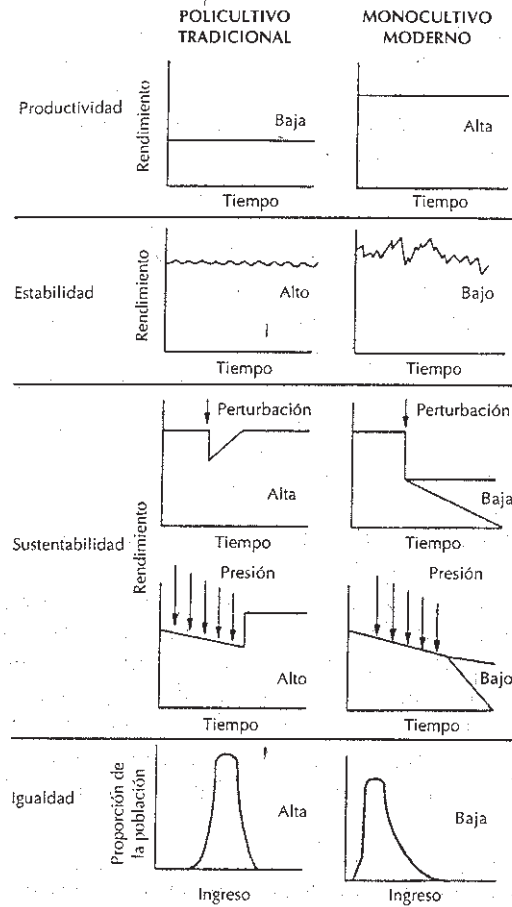
Supone medir el grado de uniformidad con que son distribuidos los productos del agroecosistema entre los productores y consumidores locales. La equidad es, sin embargo, mucho más que ingresos adecuados, buena nutrición o tiempo suficiente para el esparcimiento. Muchos de los aspectos de la equidad no son fácilmente definibles ni medibles en términos científicos. Para algunos, la equidad se alcanza cuando un agroecosistema satisface demandas razonables de alimento sin imponer a la sociedad aumentos en los costos sociales de la producción. Para otros, la equidad se logra cuando la distribución de oportunidades o ingresos dentro de una comunidad mejora realmente.

### 3. Estabilidad

Es la constancia de la producción bajo un grupo de condiciones ambientales, económicas y de manejo. Algunas de las presiones ecológicas constituyen



*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*



**Figura 2.** Propiedades de sistemas y agroecosistemas e índices de comportamiento (modificado después de Conway, 1985).

serias restricciones, en el sentido de que el agricultor se encuentra virtualmente impedido de modificarla. En otros casos, el agricultor puede mejorar la estabilidad biológica del sistema, seleccionando cultivos más adaptados o desarrollando métodos de cultivos que permitan aumentar los rendimientos. La tierra puede ser regada, provista de cobertura, abonada, o los cultivos pueden ser intercalados o rotados para mejorar la elasticidad del sistema. El agricultor puede complemen-

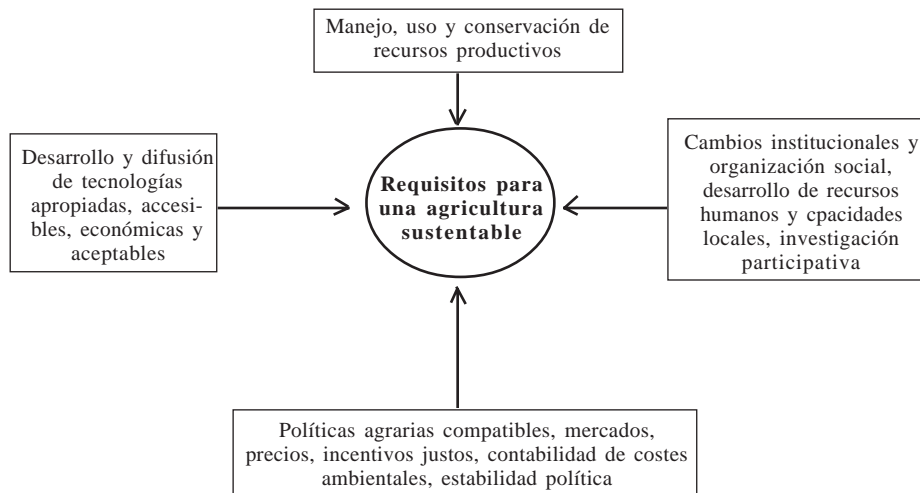
tar su propio trabajo utilizando animales o máquinas, o empleando fuerza de trabajo de personas. De esta manera, la naturaleza exacta de la respuesta no depende sólo del ambiente, sino también de otros factores de la sociedad. Por esta razón, el concepto de estabilidad debe ser expandido para abarcar consideraciones de tipo socioeconómico y de manejo.

#### 4. Productividad

Es la medida de la cantidad de producción por unidad de superficie, labor o insumo utilizado. Un aspecto importante, muchas veces ignorado al definir la producción de la pequeña agricultura, es que la mayoría de los agricultores otorgan mayor valor a reducir los riesgos que a elevar la producción al máximo. Por lo general, los pequeños agricultores están más interesados en optimizar la producción de los recursos o factores del predio que les son escasos o insuficientes, que en incrementar la productividad total de la tierra o del trabajo. Por otro lado, los agricultores parecen elegir tecnologías de producción sobre la base de decisiones que toman en cuenta la totalidad del sistema agrícola y no un cultivo en particular. El rendimiento por área puede ser un indicador de la producción y su constancia de la producción, pero la productividad también puede ser medida por unidad de labor o trabajo, por unidad de inversión de dinero, en relación con necesidades o en una forma de coeficientes energéticos. Cuando los patrones de producción son analizados mediante estos coeficientes, queda de manifiesto que los sistemas tradicionales son extremadamente más eficientes que los agroecosistemas modernos en cuanto al uso de energía. Un sistema agrícola comercial suele mostrar razones de egreso/ingreso calórico de 1-3, mientras que los sistemas agrícolas tradicionales exhiben razones de 3-15 (**Tabla 4**).

**Tabla 4. Eficiencia energética de varios sistemas de producción de maíz** (en 10<sup>3</sup> Kcal/ha/año).

	<b>Sistema Manual</b>	<b>Tracción Animal</b>	<b>Convencional/ Mecanizado</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Rotación con soya-trigo-alfalfa</b>
Entrada (Input) total	228	665	2,285	—	—
Salida total	6,962	3,352	7,636	—	—
Razón energética (salida/input)	30.5	5.0	3.3	6.7	8.3



**Figura 3.** Requisitos de una agricultura sustentable

### *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

servicios ecológicos, los objetivos económicos y los beneficios sociales, como resultado de un cambio o una combinación de cambios en los siguientes niveles:

- Disminución en la capacidad productiva (debido a la erosión, a contaminación con agroquímicos, etc.).
- Reducción de la capacidad homeostática de adecuarse a los cambios, debido a la destrucción de los mecanismos internos de control de plagas o de las capacidades de reciclaje de nutrientes.
- Reducción en la capacidad evolutiva, debido por ejemplo a la erosión genética o a la homogeneización genética a través de los monocultivos.
- Reducción en la disponibilidad o en el valor de los recursos necesarios para satisfacer las necesidades básicas (por ejemplo, acceso a la tierra, al agua y otros recursos).
- Reducción en la capacidad de manejo adecuado de los recursos disponibles, debido a una tecnología inapropiada o a una incapacidad física (enfermedad, malnutrición).
- Reducción de la autonomía en el uso de recursos y toma de decisiones, debido a la creciente disminución de opciones para los productores agrícolas y consumidores.

En la medida que se definan los umbrales de «empobrecimiento» social y ecológico de un sistema, se podrá determinar un modelo de desarrollo que minimize la degradación de la base ecológica que mantiene la calidad de vida humana y la función de los ecosistemas como proveedores de servicios y de alimentos. Para lograr esto, los procesos de transformación biológica, desarrollo tecnológico y cambio institucional tienen que realizarse en armonía, de manera que el desarrollo sustentable no empobrezca a un grupo mientras enriquece a otro, y no destruya la base ecológica que sostiene la productividad y la biodiversidad.

### LA AGROECOLOGÍA Y SU APLICACIÓN AL DESARROLLO RURAL

En tanto el desarrollo agrícola implica inevitablemente un cierto grado de transformación física de los paisajes y de artificialización de los ecosistemas, es esencial concebir estrategias que enfatizen métodos y procedimientos para lograr un desarrollo ecológicamente sustentable. La agroecología puede servir como paradigma directivo ya que define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva ecológica y socioeconómica. Además de proponer

una metodología para diagnosticar la «salud» de los sistemas agrícolas, la agroecología define los principios ecológicos necesarios para desarrollar sistemas de producción sustentables dentro de marcos socioeconómicos específicos (**Tabla 5**). En el pasado, la falta de una comprensión integral contribuyó a la crisis ecológica y socioeconómica actual que afecta a la agricultura moderna. Una estrategia agroecológica puede guiar el desarrollo agrícola sustentable para lograr los siguientes objetivos de largo plazo:

- Mantener los recursos naturales y la producción agrícola;
- Minimizar los impactos en el medio ambiente;
- Adecuar las ganancias económicas (viabilidad y eficiencia);
- Satisfacer las necesidades humanas y de ingresos;
- Responder a las necesidades sociales de las familias y comunidades rurales (salud pública, educación, etc.).

**Tabla 5. Principios agroecológicos para el manejo sustentable de agroecosistemas**

---

1. Diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética en tiempo y en espacio.
2. Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad de nutrientes y balances del flujo de nutrientes.
3. Provisión de condiciones edáficas óptimas para crecimiento de cultivos manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo.
4. Minimización de pérdidas de suelo y agua manteniendo la cobertura del suelo, controlando la erosión y manejando el microclima.
5. Minimización de pérdidas por insectos, patógenos y malezas mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas, alelopatía, etc.
6. Explotación de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, plantas y animales y animales-animales.

---

La agroecología ha surgido como un enfoque nuevo al desarrollo agrícola más sensible a las complejidades de las agriculturas locales, al ampliar los objetivos y criterios agrícolas para abarcar propiedades de sustentabilidad, seguridad alimentaria, estabilidad biológica, conservación de los recursos y equidad junto con el objetivo de una mayor producción. El objetivo es promover tecnologías de producción estable y de alta adaptabilidad ambiental.

Debido a lo novedoso de su modo de ver la cuestión del desarrollo agrícola

campesino, la agroecología ha influenciado fuertemente la investigación agrícola y el trabajo de extensión de muchas ONG latinoamericanas. Existen hoy en América Latina una serie de programas de asistencia a los campesinos, destinados temporalmente a solucionar su problema de subsistencia y de autosuficiencia alimentaria. El enfoque general consiste en mejorar cuidadosamente los sistemas campesinos existentes con elementos apropiados de la etnociencia y de la ciencia agrícola moderna; los programas tienen una orientación ecológica y se basan en tecnologías que conservan recursos y sustentan la productividad.

Los diversos programas de asistencia campesina van desde programas piloto o experimentales que se aplican a unas pocas familias, hasta programas de acción con repercusión regional. El objetivo principal consiste en permitir que las comunidades se ayuden a sí mismas para lograr un mejoramiento colectivo de la vida rural a nivel local. Las organizaciones promotoras constituyen grupos no gubernamentales, que operan con fondos suministrados por fundaciones extranjeras, al margen de las universidades o ministerios de agricultura. Estos grupos, que desde el ámbito privado buscan una proyección social, van ocupando los vacíos que deja el Estado como agente central en la promoción del desarrollo. La **Tabla 6** enumera una serie de proyectos de ONG asociados al Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo (CLADES), con una descripción de la estrategia tecnológica y sus logros e impactos.

Varias características del enfoque agroecológico relacionadas al desarrollo de la tecnología y a su difusión lo hacen especialmente compatible con la racionalidad de las ONG.

- La agroecología, con su énfasis en la reproducción de la familia y la regeneración de la base de los recursos agrícolas, proporciona un sistema ágil para analizar y comprender los diversos factores que afectan a los predios pequeños. Proporciona también metodologías que permiten el desarrollo de tecnologías hechas cuidadosamente a la medida de las necesidades y circunstancias de comunidades campesinas específicas.
- Las técnicas agrícolas regenerativas y de bajos insumos y los proyectos propuestos por la agroecología son socialmente activadores puesto que requieren un alto nivel de participación popular.
- Las técnicas agroecológicas son culturalmente compatibles, puesto que no cuestionan la lógica de los campesinos, sino que en realidad contribuyen a partir del conocimiento tradicional, combinándolo con los elementos de la ciencia agrícola moderna.

**Tabla 6. Alcance e impacto de tecnologías agroecológicas implementadas por ONG en sistemas campesinos en América Latina.**

<b>País</b>	<b>Organización involucrada</b>	<b>Intervención agroecológica</b>	<b>Núm. de agricultores o unidades de granjas afectadas</b>	<b>Núm. de Ha. afectadas</b>	<b>Cultivos dominantes</b>
Brasil	EPAGRI, AS-PTA	Abono verde Cultivos de cobertura	38,000 familias	1,330,000	Maíz, trigo
Guatemala	ALTERTEC y otros	Conservación de suelo Abono verde, cultivo orgánico	17,000 unidades	17,000	Maíz
Honduras	CIDDICO COSECHA	Conservación de suelo Abonos verdes	27,000 unidades	42,000	Maíz
El Salvador	COAGRES	Rotaciones, abonos verdes insecticidas botánicos	> 200	Nd	Cereales
México	Cooperativas oaxaqueñas	Compost, terrazas, siembra	3,000 familias	23,500	Café
Perú	CIED	Rehabilitación de terraplenes antiguos	> 1,250 familias	> 1,000	Cultivos andinos
		Campos elevados	Nd	250	Cultivos andinos
		Rehabilitación agrícola de cuenca	> 100 familias	Nd	Cultivos andinos
		Policultivos, sistemas agroforestales, compostaje	12 familias	25	Algunos cultivos
República Dominicana	Plan Sierra	Conservación de suelo, manejo de bosques secos, sistemas silvo-pastoriles	> 2,500 familias	> 2,250	Muchos cultivos
Chile	CET	Granjas integradas, cultivos orgánicos	> 1,000 familias	250	Varios cultivos
Cuba	ACAO	Granjas integradas	4 cooperativas		Varios cultivos

Nd = no hay datos

Fuente: Bowder 1989, Pretty 1997

*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

- Las técnicas son ecológicamente sanas, ya que no pretenden modificar o transformar el ecosistema campesino, sino más bien identificar elementos de manejo que, una vez incorporados, llevan a la optimización de la unidad de producción.
- Los enfoques agroecológicos son económicamente viables, puesto que minimizan los costos de producción al aumentar la eficiencia de uso de los recursos localmente disponibles.

En términos prácticos, la aplicación de los principios agroecológicos por las ONG se ha traducido en una variedad de programas de investigación y demostración sobre sistemas alternativos de producción cuyos objetivos son:

- Mejorar la producción de los alimentos básicos a nivel del predio agrícola para aumentar el consumo nutricional familiar, incluyendo la valorización de productos alimentarios tradicionales (*Amaranthus*, quinoa, lupino, etc.) y la conservación del germoplasma de cultivos nativos;
- Rescatar y revalorizar el conocimiento y las tecnologías de los campesinos;
- Promover la utilización eficiente de los recursos locales (por ejemplo tierra, trabajo, subproductos agrícolas, etc.);
- Aumentar la diversidad y variedad de animales y cultivos para minimizar los riesgos;
- Mejorar la base de recursos naturales mediante la regeneración y conservación del agua y suelo, poniendo énfasis en el control de la erosión, cosecha de agua, reforestación, etc.
- Disminuir el uso de insumos externos para reducir la dependencia, pero manteniendo los rendimientos con tecnologías apropiadas incluyendo técnicas de agricultura orgánica y otras técnicas de insumos bajos;
- Garantizar que los sistemas alternativos tengan efecto benéfico no sólo en las familias individuales, sino también en la comunidad total.

Para lograrlo, el proceso tecnológico se complementa a través de programas de educación popular que tienden a preservar y fortalecer la lógica productiva del campesino al mismo tiempo que apoyan a los campesinos en el proceso de adaptación tecnológica, enlace con los mercados y organización social.



#### EL VALOR Y USO DEL CONOCIMIENTO AGRÍCOLA TRADICIONAL

Tal vez uno de los rasgos que ha caracterizado a la agroecología en su búsqueda de nuevas prácticas de desarrollo agrícola y estrategias de manejo de recursos es que el conocimiento de los agricultores locales sobre el ambiente, las plantas, suelos y los procesos ecológicos, que adquiere una importancia sin precedentes dentro de este nuevo paradigma. Varias ONG están convencidas que el comprender los rasgos culturales y ecológicos característicos de la agricultura tradicional, tales como la capacidad de evitar riesgos, las taxonomías biológicas populares, las eficiencias de producción de las mezclas de cultivos simbióticos y el uso de plantas locales para el control de las plagas, es de importancia crucial para obtener información útil y pertinente que guíe el desarrollo de estrategias agrícolas apropiadas más sensibles a las complejidades de la agricultura campesina y que también están hechas a la medida de las necesidades de grupos campesinos específicos y agroecosistemas regionales.

La investigación y el desarrollo agrícola deben operar sobre la base de un enfoque desde abajo, comenzando con lo que ya está ahí: la gente del lugar, sus necesidades y aspiraciones, sus conocimientos de agricultura y sus recursos naturales autóctonos. En la práctica, el enfoque consiste en conservar y fortalecer la lógica productiva de los campesinos mediante programas de educación y adiestramiento, usando granjas demostrativas que incorporen tanto las técnicas campesinas tradicionales como también nuevas alternativas viables. De esta manera, el conocimiento y las percepciones ambientales de los agricultores están integrados a esquemas de innovación agrícola que intentan vincular la conservación de recursos y el desarrollo rural. Para que una estrategia de conservación de recursos compatible con una estrategia de producción tenga éxito entre los pequeños agricultores, el proceso debe estar vinculado a esfuerzos de desarrollo rural que den la misma importancia a la conservación de los recursos locales y autosuficiencia alimentaria y participación en los mercados locales. Cualquier intento de conservación tanto genética, como del suelo, del bosque o de un cultivo, debe esforzarse por preservar los agroecosistemas en que estos recursos se encuentran. Está claro que la preservación de agroecosistemas tradicionales no se puede lograr si no se mantienen al mismo tiempo la etnociencia y la organización socio-cultural de la comunidad local. Es por esta razón que muchas ONG ponen énfasis en un enfoque agroecológico-etnoecológico como mecanismo efectivo para relacionar el conocimiento de los agricultores con los enfoques científicos occidentales, en proyectos de desarrollo agrícola que enlacen las necesidades locales con la base de recursos existentes.

#### RACIONALIDAD ECOLÓGICA DE LOS AGROECOSISTEMAS TRADICIONALES

En algunas zonas como en el área andina, las zonas tropicales del Amazonas y de Mesoamérica, etc., los sistemas de agricultura tradicional han emergido a lo largo de siglos de evolución cultural y biológica, de manera que los campesinos y los indígenas han desarrollado o heredado agroecosistemas que se adaptan bien a las condiciones locales y que les han permitido satisfacer sus necesidades vitales por siglos, aún bajo condiciones ambientales adversas, tales como terrenos marginales, sequía o inundaciones.

En general, estos sistemas son altamente diversificados, se manejan con niveles bajos de tecnología y con insumos generados localmente. Asimismo, dependen de recursos locales, energía humana o animal y de la fertilidad natural del suelo, función usualmente mantenida con barbechos, uso de leguminosas y abonos orgánicos.

Confrontados con problemas específicos relativos a pendiente, espacio limitado, baja fertilidad de suelos, sequías, plagas, etc., los campesinos de todo el continente han desarrollado sistemas únicos de manejo para obviar tales limitaciones (**Tabla 7**).

Los principios y procesos en que se basan tales manejos pueden resumirse en los siguientes puntos:

- conservación de la diversidad genética y de especies temporales y espaciales, y de continuidad productiva;
- uso óptimo del espacio y de los recursos locales;
- reciclaje de nutrientes, desechos, agua y energía;
- conservación de agua y suelo;
- control de la sucesión y protección de los cultivos.

Una serie de estudios ecológicos y antropológicos de agroecosistemas tradicionales, demuestran que muchos de estos sistemas han probado ser sustentables dentro de sus contextos ecológicos e históricos. Aunque los diversos sistemas evolucionaron en épocas y áreas geográficas diferentes, comparten una serie de aspectos funcionales y estructurales al combinar alta diversidad de especies en el tiempo y en el espacio, adiciones sustanciales de materia orgánica, reciclaje eficiente de nutrientes y una serie de interdependencias biológicas, que confieren estabilidad a las poblaciones de plagas y mantienen la fertilidad del suelo.

**Tabla 7. América Latina, ejemplos de sistemas de manejo de suelo, vegetación, agua, etc, utilizados por campesinos**

<b>Limitación ambiental</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Prácticas de manejo</b>
Espacio limitado	Maximizar uso de recursos ambientales y tierra disponible.	Policultivos, agroforestería, huertos familiares, zonificación altitudinal, fragmentación del predio, rotaciones.
Laderas/pendientes	Controlar la erosión, conservar el agua.	Terrazas, franjas en contorno, barreras vivas y muertas, <i>mulching</i> , cubiertas vivas continuas, barbecho.
Fertilidad marginal del suelo	Sostener la fertilidad y reciclar la materia orgánica.	Barbechos naturales o mejorados, rotaciones y asociaciones con leguminosas, composta, abonos verdes y orgánicos, pastoreo en campos en barbecho o después de la cosecha, uso de sedimentos aluviales, etc.
Inundaciones o excesos de agua	Integrar la agricultura y las masas de agua.	Cultivos en campos elevados («chinampas», «waru-warú», etc.)
Lluvias escasas o poco predecibles	Conservar el agua y utilizar en forma óptima la humedad disponible.	Uso de cultivos tolerantes a sequía, <i>mulching</i> , policultivos, cultivos de ciclo corto, etc.
Extremos de temperatura y de radiación	Mejorar el microclima.	Reducción o incremento de sombra, podas, espaciamiento de cultivos, uso de cultivos que toleran sombra, manejo de viento con cortinas rompeviento, cercos vivos, labranza mínima, policultivos, agroforestería, etc.
Incidencia de plagas	Proteger los cultivos, reducir las poblaciones de plagas.	Sobresiembra, tolerancia de cierto daño, uso de variedades resistentes, siembra en épocas de bajo potencial de plagas, manejo del hábitat para incrementar enemigos naturales, uso de plantas repelentes, etc.

## CONCLUSIONES

Existe hoy día una gran preocupación por el proceso de empobrecimiento sistemático a que está sometida la agricultura campesina, con una población en aumento, predios agrícolas que son cada vez más pequeños, ambientes que se degradan y una producción *per capita* de alimentos que se mantiene estática o disminuye. En vista de esta crisis que se hace cada día más profunda, un objetivo importante del desarrollo rural es el de impedir el colapso de la agricultura campesina en la región, transformándola en una actividad más sustentable y productiva. Tal transformación sólo se puede producir si somos capaces de comprender las contribuciones potenciales de la agroecología y de incorporarlas a las estrategias de desarrollo rural de modo que:

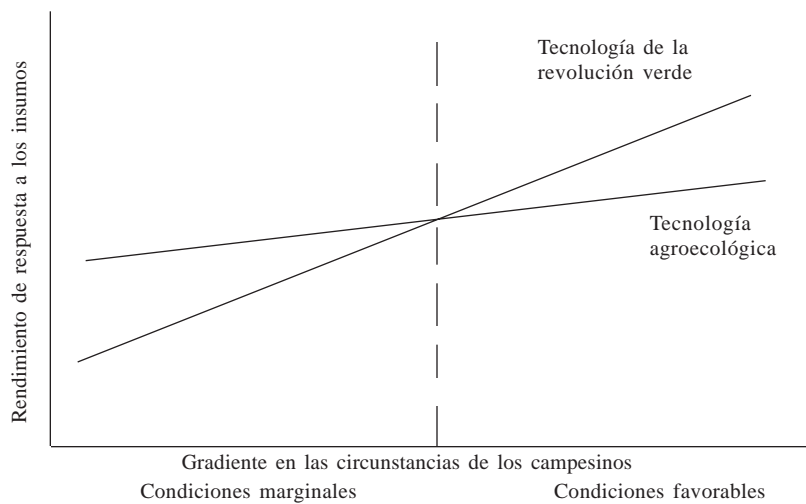
- Mejoren la calidad de vida de los campesinos que trabajan pequeñas parcelas de tierra y tierras marginales mediante el desarrollo de estrategias de subsistencia ecológicamente sensibles.
- Eleven la productividad de la tierra de los campesinos que compiten en el mercado mediante la confección de proyectos y la promoción de tecnologías de bajo insumo que disminuyan los costos de producción.
- Promuevan la generación de empleos e ingresos mediante el diseño de tecnologías apropiadas orientadas a actividades de procesamiento de alimentos, que aumenten el valor agregado de lo que se produce en las unidades campesinas.

Es evidente que mejorar el acceso de los campesinos a la tierra, agua y otros recursos naturales, como también al crédito equitativo, mercados justos, tecnologías apropiadas, etc., es crucial para garantizar un desarrollo sustentable. Cómo desarrollar y promover tecnologías adaptadas a la agricultura campesina es el reto ineludible para la agroecología. Este desafío sólo se puede enfrentar adoptando una estrategia agroecológica en el desarrollo rural que enfatice en forma sistemática las relaciones entre las variables ambientales, técnicas, socioeconómicas y culturales que afectan el uso y producción de los recursos locales. Cuando se diseñan nuevos agroecosistemas se deben considerar las interacciones entre los individuos y su ambiente local, los patrones espaciales y temporales de las actividades productivas, las relaciones sociales de producción y las interacciones entre las comunidades y el mundo exterior.

Algunos analistas plantean que dada la gama de tipos de agricultura campesina y dada la estructura rígida y convencional de la investigación y extensión agrícola practicada por los ministerios y universidades, las tecnologías agroeco-

lógicas ofrecen mejores opciones a aquellos campesinos que operan en condiciones de marginalidad ecológica y socioeconómica (**Figura 4**).

Evidentemente, mientras más pobre sea el agricultor, mayor importancia cobrará el empleo de una tecnología de bajos insumos, ya que aquel no tiene más opción que recurrir al uso eficiente de sus recursos locales. Bajo condiciones de subsidio económico (crédito) o si dispone de suelos planos y acceso a riego, la revolución verde se torna más atractiva para los agricultores, ya que en el corto plazo parece ofrecer rendimientos más espectaculares. La pregunta es ¿a que costo social y ambiental? y ¿por cuánto tiempo se puede subsidiar el sistema? Esta discrepancia no existiría si hubiera centros de investigación y extensión a nivel nacional que promovieran la agroecología con tanta energía como actualmente las instituciones de gobierno impulsan la agricultura química y mecanizada.



**Figura 4.** La realización potencial de la tecnología de la revolución verde (agricultura de altos insumos) y la tecnología agroecológica (agricultura de bajos insumos) a lo largo de un gradiente de recursos naturales y condiciones socioeconómicas que afectan a los sistemas agrícolas campesinos (Altieri y Anderson, 1986).

El problema inmediato en muchas áreas de pobreza rural radica en la supervivencia del campesino, por lo que mantener la producción de subsistencia es absolutamente esencial para el bienestar de la población rural. Un campesinado con seguridad alimentaria, organización social, una base conservada de recursos

naturales y una identidad cultural, está en mejor posición de negociar con el poder local o nacional. El aumento de la participación de los campesinos en los mercados locales solamente se conseguirá una vez que sus necesidades básicas de supervivencia y tenencia estén aseguradas. En esencia, lo que se pretende es promover la autosuficiencia alimentaria del campesinado, dejando de lado el modelo de agricultura especializada, orientada al mercado de exportación, por un modelo que reconozca en la diversidad ecológica y cultural de cada región, los elementos claves de la apropiación y transformación de la naturaleza.

Los datos que demuestran que los proyectos agroecológicos promovidos por las ONG han dado lugar a mayor producción, mejor distribución de ingresos o más empleo rural, han emergido muy lentamente, ya que las situaciones de urgencia del campo han exigido más dedicación a la acción que a la investigación o la publicación de resultados. Sin embargo, se requiere la cooperación de investigadores en las ciencias sociales y biológicas para medir el grado de éxito de las estrategias agroecológicas. Se requiere un análisis más profundo que la mera estimación de la producción total y el grado de incorporación al mercado. Se necesitan otros índices que permitan evaluar las repercusiones de aquellos programas que producen mejor bienestar y nutrición de los campesinos al compartir los alimentos, la labor en el campo y la conservación de los recursos naturales.

Los ejemplos de programas de desarrollo rural promovidos «desde abajo» sugieren que una estrategia ecológica debe cumplir con cuatro requisitos básicos:

- que utilice tecnologías adaptables basadas en prácticas tradicionales, tecnologías autóctonas y germoplasma criollo;
- que enfatice el empleo de tecnologías fácilmente comunicables de un agricultor a otro, y por lo tanto que utilice experimentación en pequeña escala, que demuestre un efecto oportuno;
- que comprometa a los campesinos en el diseño, elaboración, manejo y evaluación del programa, y que se emplee personal local en calidad de promotores;
- que utilice métodos pedagógicos de demostración sobre la base del principio de aprendizaje mediante la práctica.

A medida que se van evaluando estos programas, se comprueba que los campesinos que adoptan los diseños propuestos gozan de mayor autosuficiencia alimentaria y se consolidan más a nivel comunal al colaborar recíprocamente en el trabajo y en otras actividades. Es obvio además que los sistemas modelos no

*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

son tomados por los campesinos como recetas técnicas rígidas; éstos cumplen más bien una función pedagógica, proporcionando a los campesinos ideas y criterios que estos aplicarán en sus tierras en la forma que consideran más apropiada.

## APÉNDICE

**Tabla 9. Efectos documentados de estrategias agroecológicas en comparación con estrategias convencionales**

---

**Efectos sobre el suelo** (derivados de rotaciones, policultivos, integración animal y uso de leguminosas)

---

1. Incremento en el contenido de materia orgánica. Estímulo de la actividad biológica del suelo. Incremento de la mineralización de nutrientes.
  2. Conservación de suelo y humedad, disminución de erosión, mejoramiento de estructura (**Tabla 11 a y b**).
  3. Mayor captura y reciclaje de nutrientes.
  4. Incremento de actividad micorrítica y de antagonistas.
- 

**Efectos sobre plagas, enfermedades y malezas**

1. La diversificación en la forma de policultivos reduce insectos plagas al afectar directamente a herbívoros o al estimular a enemigos naturales.
  2. Las multilíneas y mezclas de variedades reducen las enfermedades.
  3. Los policultivos con alta cobertura del suelo reducen las malezas
  4. Los cultivos de cobertura en frutales reducen las plagas y malezas.
  5. La labranza mínima puede reducir enfermedades.
- 

**Efectos sobre los rendimientos**

1. Los rendimientos por unidad de área pueden ser 5-10% menor (**Tabla 12**), aunque rendimientos relacionados con otros factores (por unidad de suelo perdido, por unidad de energía, de agua, etc.) son mayores. Cuando los rendimientos se miden con el LER (**Tabla 2**), los policultivos son mayores que los monocultivos .
  2. Puede existir una merma en la producción durante el periodo de conversión a manejo orgánico, pero esto se puede obviar con sustitución de insumos.
  3. La variabilidad de los rendimientos es menor, hay menor riesgo de fracaso productivo.
  4. Las variedades nativas o tradicionales son más adaptadas y eficientes en el uso de recursos escasos que las variedades mejoradas (**Tabla 13**).
  5. Las rotaciones incrementan y estabilizan rendimientos en el largo plazo.
- 

**Efectos sobre aspectos económicos**

1. Costos de producción bajos .
  2. Mayores requerimientos de mano de obra para algunas prácticas, pero existe un efecto distribuidor de las necesidades durante la estación, evitando picos de demanda (**Figura 15, Tabla 14 a y b**).
  3. Induce menos costos ambientales (externalidades); por ejemplo existe una menor depreciación del suelo, menos costos de contaminación, etc. (**Tabla 15**).
  4. La eficiencia energética es mayor, hay una demanda menor de energía total.
-



**Tabla 10. Efectos documentados de varias prácticas agroecológicas sobre parámetros agroproductivos**

<b>Sistema de Manejo</b>	<b>Mejora Fertilidad del Suelo</b>	<b>Controla Erosión</b>	<b>Suprime Plagas</b>	<b>Reduce Enfermedades</b>	<b>Controla Malezas</b>	<b>Incrementa Rendimientos</b>	<b>Mejora Microclima</b>	<b>Conserva Humedad</b>	<b>Estimula Biología del Suelo</b>
<i>Mulch</i> Vivo	+	+	+	NS	+	X	NS	NS	+
<i>Mulch</i> muerto	NS	+	+	+	+	+	+	+	+
Labranza mínima	+	+	±	+	±	±	NS	NS	+
Cultivo en callejones	+	NS	NS	NS	NS	+	+	+	+
Barreras vivas	NS	+	NS	NS	NS	+	NS	NS	NS
Rotaciones	+	+	+	+	+	+	NS	NS	+
Cultivos asociados	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Multilíneas y mezclas de variedades	NS		+	+	NS	+	NS	NS	NS
Cultivos de cobertura	+	+	+	NS	+	+	NS	NS	+
Agroforestería	+	+	±	±	±	+	+	+	+
Integración animal	+	NS	NS	NS	NS	+	NS	NS	+

+ = efecto positivo

± = efecto variable (positivo, neutro o negativo dependiendo de condiciones)

NS = no se ha documentado efecto significativo

**Tabla 11a. Pérdidas de suelo de acuerdo a cantidad de *mulch* utilizados en suelo de pendientes de 1-15%**

Cantidad de <i>mulch</i> (t/ha)	Pérdida de suelo (t/ha)
0	76.6
2	2.4
4	0.37
6	0.04

**Tabla 11b. Pérdida de suelo en sistemas con diferentes plantas utilizadas como barreras vivas**

Especie	Pérdida de suelo (cms)
<i>Gliricidia sepium</i> y <i>Paspalum conjugatum</i>	0.38
<i>Pennisetum purpureum</i>	0.62
<i>G. sepium</i> + <i>P. purpureum</i>	1.38
<i>G. sepium</i>	1.50
Cultivo sin barrera	4.20

**Tabla 12. Rendimiento promedio de sistemas orgánicos y convencionales en el medio oeste de EUA.**

	Bushes/Acre	
	Orgánico	Comercial
Maíz	77.9 + 5.4	80.6 + 7.6
Centeno	58.3 + 3.3	57.0 + 4.7
Soya	30.0 + 2.9	29.9 + 4.0
Trigo	31.4 + 3.8	34.4 + 4.1

**Tabla 13. Comparación de la productividad de variedades de trigo nativas y mejoradas**

	Variedad nativa	Variedad revolución verde
Rendimiento (kg/ha)	3291	4690
Demanda de agua(cm)	5.3	16
Demanda fertilizante	47.3	88.5
Productividad respecto al uso del agua(kg/ha/cm)	620.9	293.1
Productividad respecto al uso del fertilizante (kg/ha/ha)	69.5	52.9

*Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*

**Tabla 14a. Requerimientos de mano de obra en sistemas orgánicos y convencionales (hr/ha)**

	<b>Orgánico</b>	<b>Convencional</b>
Maíz, soya, cereales	7.4-8.2	6.4-7.9
Cereales	4.7-14.0	1.5-3.2
Trigo	13.1-21.0	8.9

**Tabla 14b. Días de labor para limpiar, arar, sembrar y desyerbar yuca en Colombia**

	<b>Manual</b>	<b>Tracción animal</b>	<b>Tractor</b>
Limpiar terreno	6	8	3
Arar	19	8	5
Sembrar	8	11	11
Desyerbar	31	20	20
Total	64	42	39

**Tabla 15. Análisis económico de la producción de maíz y soya en EUA usando técnicas de contabilidad de recursos naturales.**

	<b>Sin contabilidad de recursos \$/acre/año</b>	<b>Con contabilidad de recursos \$/acre/año</b>
Margen de operación	45	45
Depreciación del suelo	-	25
Ingreso operacional neto	45	20
Subsidio de gobierno	35	35
Ingreso neto total	80	55

Si se adicionaran los costos ambientales del impacto de la erosión fuera del predio (\$46) el ingreso neto total sería (- \$26).

## Capítulo 2

### UN ENFOQUE AGROECOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLES PARA LOS CAMPELINOS ANDINOS

#### INTRODUCCIÓN

Al cierre del siglo xx los especialistas en agricultura debieron haber aprendido una importante lección ecológica: dada la heterogeneidad de los ecosistemas y los sistemas agrícolas y la naturaleza diferenciada de los grupos étnicos en los Andes, es claro que no puede existir un tipo único de intervención tecnológica para el desarrollo; las soluciones deben diseñarse de acuerdo a las necesidades y aspiraciones de las comunidades específicas, así como a las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes.

El problema con los enfoques agrícolas convencionales es que no han tomado en cuenta las inmensas variaciones en la ecología, relaciones económicas y organizaciones sociales que existen en la región, y por lo tanto, el desarrollo agrícola no ha coincidido con las necesidades y potenciales de los campesinos locales. Existe una amplia experiencia que comprueba la importación de tecnologías de alto insumo para incrementar la producción agrícola, no fue una condición suficiente para solucionar los problemas de hambre y pobreza. La totalidad de las revoluciones tecnológicas favorecieron preferentemente al sector agrícola comercial de gran escala y no a la gran masa de campesinos de la región, la cual produce una alta proporción de los cultivos básicos para la nutrición regional (Mateo y Tapia, 1990; Fonseca y Mayer, 1988).

Hoy en día, los desafíos del desarrollo rural se dan dentro de un escenario de alta disparidad en la distribución de la tierra, de marcados niveles de pobreza rural, y de una decreciente y degradada base de recursos naturales. Al respecto, la problemática contemporánea de la producción ha evolucionado de una dimensión meramente técnica a una de dimensiones más sociales, económicas, políti-

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

cas, culturales y ambientales. En otras palabras, hoy la preocupación central es la de la sustentabilidad de la agricultura. El concepto de sustentabilidad es útil porque recoge un conjunto de preocupaciones sobre la agricultura, concebida como un sistema tanto económico, social y ecológico. La comprensión de estos tópicos más amplios acerca de la agricultura requiere entender la relación entre la agricultura y el ambiente global, ya que el desarrollo rural depende de la interacción de subsistemas biofísicos, técnicos y socioeconómicos. Este enfoque más amplio, que permite entender la problemática agrícola que en términos holísticos se denomina «agroecología».

La agroecología se perfila como una disciplina única que delinea los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas desde un punto de vista integral, incorporando dimensiones culturales, socioeconómicas, biofísicas y técnicas. La agroecología va más allá de una visión unidimensional de los agroecosistemas: su genética, edafología o agronomía, para mejorar un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función de los sistemas agrarios. La agroecología estimula a los investigadores a capitalizar en el conocimiento y habilidades de los agricultores y a identificar el gran potencial que resulta de estructurar la biodiversidad para crear sinergias benéficas que provean a los agroecosistemas de la capacidad de permanecer e incluso retornar a un estado original de estabilidad natural (Altieri, 1995).

La producción sostenible se deriva del balance apropiado de suelos, cultivos, nutrientes, luz solar, humedad y de las sinergias entre organismos existentes. El agroecosistema es productivo cuando este balance y las condiciones óptimas prevalecen y cuando las plantas cultivadas son resistentes para tolerar el estrés y la adversidad. Con un agroecosistema vigoroso, adaptable y lo suficientemente diversificado para recuperarse una vez que el estrés haya pasado se pueden superar alteraciones eventuales. Ocasionalmente, puede que sea necesario usar medidas más directas (por ejemplo, insecticidas botánicos, fertilizantes alternativos, etc.) para controlar plagas, enfermedades específicas o problemas del suelo, pero la agroecología prevé las directrices para un manejo cuidadoso de manera de no dañar permanentemente el agroecosistema. Simultáneamente, al enfrentamiento con la plaga, enfermedad o deficiencia del suelo, el agroecólogo se esfuerza por restaurar la resistencia y vigor del agroecosistema. Si la causa de la enfermedad, plaga o degradación del suelo se entiende como un desbalance, entonces el objetivo del tratamiento es recuperar el balance.

Pero la protección y producción estable no son el único propósito de la

agroecología. De hecho, en el contexto de la agricultura campesina, la sustentabilidad no es posible sin la preservación de la diversidad cultural que ha evolucionado con las agriculturas locales, y una producción estable es sólo posible en el contexto de una organización social que proteja la integridad de los recursos naturales y que nutra la interacción armónica entre el hombre, el agroecosistema y el ambiente.

Entonces, el objetivo fundamental de la agroecología es permitir a los investigadores, estudiantes de la agricultura y agricultores, desarrollar un entendimiento más profundo de la ecología de los sistemas agrarios, de manera de favorecer aquellas opciones de manejo adecuadas a los objetivos de una agricultura verdaderamente sustentable. Es dentro de esta perspectiva que se presentan las bases agroecológicas para el desarrollo de una agricultura andina sustentable.

#### CARACTERÍSTICAS DE LA AGRICULTURA ANDINA TRADICIONAL

Uno de los rasgos que han caracterizado a la agroecología en su búsqueda de nuevos tipos de desarrollo agrícola y estrategias de manejo de recursos, es que el conocimiento de los agricultores locales sobre el ambiente, las plantas, suelos y los procesos ecológicos recupera una importancia sin precedentes dentro de este nuevo paradigma. El comprender los rasgos culturales y ecológicos característicos de la agricultura tradicional, tales como la capacidad de evitar riesgos, las taxonomías biológicas populares, las eficiencias en producción de las mezclas simbióticas de cultivos y variedades, el uso de plantas locales para el control de las plagas, etc., es de importancia crucial para obtener información útil y pertinente que guíe el desarrollo de estrategias agrícolas apropiadas más sensibles a las complejidades de la agricultura campesina y que también estén hechas a la medida de las necesidades de grupos campesinos específicos y agroecosistemas regionales.

En este sentido, la agricultura tradicional andina ofrece un gran potencial para desarrollar una estrategia agroecológica (Araujo *et al.*, 1989), dado que:

- a) la región andina es uno de los grandes centros de origen y domesticación de numerosas plantas alimenticias (granos, leguminosas, tubérculos, raíces y frutales, ver **Tabla 1**) constituyendo un repositorio de material fitogenético de importancia única y trascendental;
- b) los grupos étnicos poseen una extraordinaria capacidad de organización familiar, cultural, social y política puesta directamente al servicio de la producción agropecuaria;

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

c) la mayoría de los campesinos poseen una gran pericia técnica para la utilización integral, intensiva y sostenida del espacio disponible para fines agropecuarios; sus sistemas tradicionales de clasificación de suelos y variedades, así como sistemas de predicción del clima, se basan en indicadores naturales (i.e comportamiento de animales, floración de ciertas especies, etc.);

**Tabla 1. Cultivos andinos más comunes en la agricultura campesina\***

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Especies afines</b>
<b>Granos</b>		
Maíz	<i>Zea mays</i>	<i>Tripsacum</i>
Quinua	<i>Chenopodium quinona</i>	<i>Ch.hircinum</i>
Kañiwa	<i>Chenopodium pallidicaulle</i>	-----
Kiwicha	<i>Amarantus caudatus</i>	<i>A hibridus</i>
<b>Leguminosas</b>		
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>P. coccineous</i>
Tarwi	<i>Lupinus mutabilis</i>	<i>L. praestabilis</i>
Pajuro	<i>Erythrina edulis</i>	<i>E. falcata</i>
<b>Tubérculos</b>		
Papa	<i>Solanum andinum</i>	<i>S. acaula</i>
Oca	<i>Oxalis tuberosa</i>	<i>O. crenata</i>
Olluco	<i>Ullucus tuberosus</i>	<i>U. aborigeneus</i>
Mashwa	<i>Tropaeolum tuberosum</i>	<i>T. edulis, T. polyphyllum</i> <i>T. sessifolium</i>
<b>Raíces</b>		
Arracacha	<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	<i>A. aequatoriales</i>
Yacón	<i>Polymnia sonchifolia</i>	<i>P. andina</i>
Chago	<i>Mirabilis expansa</i>	-----
Ahipa	<i>Pachyrhizus ahipa</i>	<i>P. tuberosus</i>
Maca	<i>Lepidium meyenii</i>	<i>L. chichicara</i>
<b>Frutos</b>		
Sachatomate, tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	<i>P. ixocarpa</i>
Capulí	<i>Physalis peruviana</i>	<i>P. mixta</i>
Tumbo	<i>Passiflora mollisima</i>	-----

\* Tapia, 1990

d) la estrategia de uso múltiple del paisaje es guiada por una cosmovisión holística, totalizadora que tiene una de sus expresiones más cabales en el hecho de que los recursos agropecuarios, así como la fuerza de trabajo, suelo, agua, cultivos, animales y clima, no se conciben el uno separado del otro, sino tan sólo en su interrelación múltiple, en la síntesis constituida por la actividad agropecuaria concreta (Grillo, 1989).

Para enfrentar las limitantes biofísicas del ambiente andino tales como lluvias irregulares, topografía desfavorable, suelos pobres, extremos climáticos, etc., a través de los siglos los campesinos han desarrollado un estilo andino de agricultura que presenta los siguientes rasgos (Rengifo, 1987):

1. La artificialización del sistema natural es un proceso de transformación biológico y edáfico, orientado no sólo a extraer el máximo de excedentes al corto plazo, sino también a mantener la productividad en el largo plazo.
2. El objetivo de la intensificación de las cosechas es la seguridad alimentaria.
3. Las labranzas del suelo, en sus diferentes sistemas evitan que se produzca una degradación del suelo y desajustes ambientales mayores.
4. La presencia de numerosos cultivos y variedades distribuidas en microparcelas en diferentes pisos ecológicos. En un medio como el andino, con zonas de vida numerosas y variadas y al mismo tiempo con variedad de riesgos se impone el policultivo y las mezclas de variedades.
5. La práctica de asociar y rotar cultivos en una misma parcela es común y se considera eficiente desde el punto de vista agronómico, pues las especies que se asocian y otras que rotan tienen diferentes requerimientos de nutrientes, al mismo tiempo, es una manera de reciclar nutrientes, en particular en terrenos de conducción colectiva que descansan, luego de un período de uso agrícola (laymes). En estas condiciones, el período de descanso es necesario para recuperar materia orgánica, lo cual también se logra introduciendo ganado que utiliza los pastos naturales devolviendo con sus deyecciones materia orgánica para la fertilidad del suelo.
6. El objetivo fundamental de la estrategia agrícola es dispersar los riesgos (sequía, helada, granizada, etc.) lo más posible entre el máximo de especies producidas y/o el máximo de situaciones ecológicas (Morlon *et al.*, 1982). Esto lleva a estrategias de dispersión de riesgo dentro de una finca, al utilizar cultivos asociados en los que una especie protege a otra:
  - contra el avance de enfermedades (mashua intercalada con papa);



### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

- contra las incursiones del ganado (siembra de tarhui en forma de cercos alrededor de las fincas); y
- contra los daños climáticos (especies altas que sirvan para proteger a las más bajas).

También puede llevar a estrategias que tiendan a dispersar el riesgo al repartir las parcelas cultivadas en el espacio en diferentes situaciones ecológicas de suelo-clima, zonas planas/pendientes, diferentes alturas, suelos con diferentes características hídricas, etc. y, eventualmente, a distancias suficientes para que no todas sean alcanzadas por un fenómeno localizado, como por ejemplo, el granizo (Morton *et al.*, 1982).

7. Existen varias tácticas de dispersión de riesgo que se aplican a diferentes escalas; policultivos en fincas individuales, escalamiento temporal de sembradíos y la dispersión espacial de fincas pertenecientes a la misma familia.
8. La gestión social del suelo resulta de primera importancia en la conservación de los recursos. Muchas de las decisiones, en particular sobre los suelos de las zonas altas, siguen estando en la mayoría de las comunidades en manos de la organización colectiva antes que en las familias individuales. Acerca de los laymes existen reglas que precisan, cuál de ellos cultivar, con que cultivar, como hacerlo, como repartirlo, y el número de años de descanso (Bourliaud *et al.*, 1988).

Hoy en día, el acentuado fenómeno de fraccionamiento de las unidades agrícolas familiares, el proceso de subdivisión de las tierras comunales y el impacto desequilibrador del mercado, entre otros factores, han incidido de manera aguda en la modificación de algunos rasgos del patrón tradicional, de manera que por el momento éste sólo se expresa en pequeñas áreas y no siempre (Rengifo, 1987). Es en estos remanentes de agricultura tradicional, donde se debe recobrar por un lado y sistematización de los atributos agroecológicos de estos sistemas, y por otro realizar esfuerzos para conservar *in-situ* estos sistemas aún no modificados, de manera que sirvan de faros agroecológicos para demostración e investigación.

En la **Tabla 2**, se describen una serie de características de la agricultura andina tradicional, guiada por un conocimiento técnico autóctono, el cual se manifiesta en una serie de prácticas de la producción y conservación que puede servir de base para el desarrollo de una estrategia agroecológica andina (Valladolid, 1986).

**Tabla 2. Características de la agricultura tradicional alto-andina\***

1. Predicción del clima (antes de la preparación del suelo) mediante:	Indicadores astronómicos:	Observación del brillo de las estrellas de la constelación de las Pléyades = Suchu, en el mes de junio
	Indicadores biológicos:	Fitoindicadores: floración de plantas crasuláceas silvestres. Ejem.: cactáceas Zooindicadores: comportamiento de animales silvestres: aves, insectos
2. Preparación y manejo del suelo de acuerdo a la predicción del clima:	Año seco:	Surcos en sentido transversal a la pendiente
	Año lluvioso:	Surcos en sentido de la pendiente
3. Manejo de una amplia variabilidad fitogenética:	Intraespecífica:	mezcla de variedades de un mismo cultivo: especies y variedades de papa
	Interespecífica:	asociación de cultivos en una misma chacra: maíz con líneas de quinua
4. Uso de técnicas variadas en el manejo del cultivo mediante herramientas adecuadas: chakitaella	En el espacio:	Manejo de diversos pisos ecológicos. Manejo de diversos pisos altitudinales y nichos dentro de cada piso ecológico
	En el tiempo:	Entre años: rotación de cultivos Dentro de años: diversas épocas de siembra
5. Complementariedad con la ganadería:	Manejo de ganado:	En la estación lluviosa del año: residuos de cosecha En la estación seca del año: residuos de cosecha
	Empleo del ganado:	Como fuerza de tracción animal Como fuente de abono: estiércol de ovino
6. Técnicas variadas de procesamiento para la conservación y uso de productos	Vegetales	Deshidratación de tubérculos: papa amarga: chuño; oca: khaya; oltuco: liglit; ayacha: mashwa Desamargado de granos: tarwi, quinua
	Del ganado	Deshidratación de la carne de llama: charqui
7. Organización comunal variada y eficiente		Relaciones de reciprocidad: Aini Relaciones distributivas de compensación

\* Valladolid, 1986

#### RASGOS AGROECOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS ANDINOS TRADICIONALES

En los Andes centrales predomina la economía agropastoral comunitaria, que aún prevalece a pesar de la competencia existente entre las haciendas y las comunidades de campesinos por la tierra (Brush, 1982). Este sistema, asociado a la agricultura campesina de montaña de gran altura, al cultivo de papas y tubérculos andinos, al uso de la *chakitaklla* y al control comunal de la tierra, está ampliamente difundido en los Andes peruanos y bolivianos (Fonseca y Mayer, 1988). Los andenes y terrazas en casi todo el territorio andino, los *waru-waru* y *cochas* en el altiplano, resultan expresiones de modificación del paisaje con finalidades agrícolas. Según algunos autores éstos cubren más de un millón de hectáreas de suelo, que gracias al manejo tradicional son de aptitud agrícola.

Es claro que la agricultura andina se ha beneficiado gracias a los siglos de evolución cultural y biológica, mediante lo cual se ha adaptado a las condiciones locales. Así, los 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 y pendientes, en áreas secas de lluvias irregulares, con pocos recursos) sin depender de la mecanización o de los fertilizantes y plaguicidas químicos (Rengifo y Regalado, 1991).

La mayoría de los campesinos han empleado prácticas diseñadas para optimizar la productividad en el largo plazo, en vez de aumentarla al máximo en el corto plazo. Los insumos por lo general, se originan en la región inmediata y el trabajo agrícola es realizado por seres humanos o animales que se abastecen de energía provenientes de fuentes locales. Trabajar con esta energía en este tipo de restricciones ha hecho que los pequeños agricultores aprendan a reconocer y a utilizar eficientemente los recursos que existen en su región (Brush *et al.*, 1981).

#### VERTICALIDAD Y PISOS ECOLÓGICOS

El impacto en la economía humana del complejo ambiente andino, ha tenido como resultado arreglos de colonización y sistemas agrícolas verticales. El patrón de verticalidad proviene de las diferencias climáticas y bióticas relacionadas con la altitud y la ubicación geográfica. La altitud crea fuertes gradientes de temperatura y, en parte, de humedad. En el área occidental de los Andes, la temperatura media anual es de 13°C a 3,000 msnm, y baja de 0.55 a 0.65°C por cien metros de elevación. A 1,500 m de altura, el fondo de los valles está seco. A 3,000 msnm las lluvias alcanzan cerca de 300 a 400 mm por año y aumentan con

la altitud a razón de 10 mm por 100 m para alcanzar 700 a 1,000 mm a 4,500 msnm. Entre 3,500 y 3,900 msnm en particular, donde son cultivados un máximo de especies y variedades de tubérculos y cereales, y donde se encuentra la mayor parte de las tierras cultivadas, la producción agrícola puede quedar comprometida en cualquier momento del ciclo de cultivo por riesgos climáticos, tales como heladas, granizadas, sequía e inundaciones (Mateo y Tapia, 1990).

La evolución de la tecnología agraria en los Andes centrales 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 manejados con tecnología agropastoral, diseñada para producir una dieta adecuada con los recursos locales, mientras se evita la erosión del suelo (**Figuras 1a y 1b**) (Brush *et al.*, 1981).

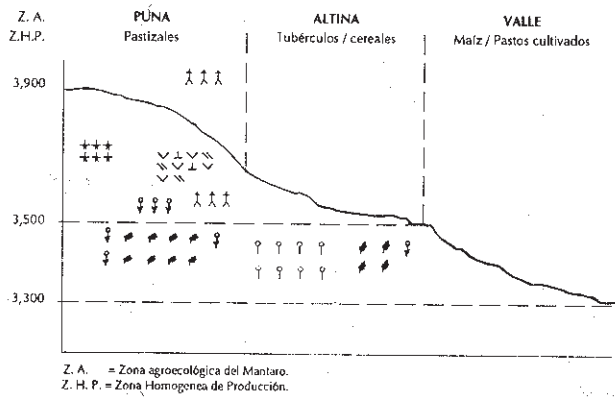
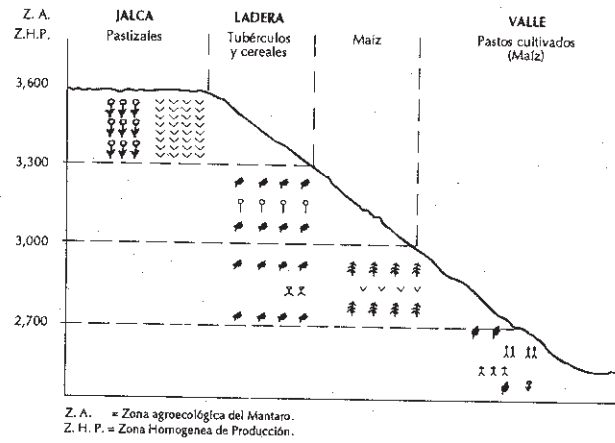
Los habitantes locales de los Andes reconocen de tres a siete cinturones agroclimáticos, los que se distinguen según la altitud, humedad, temperatura, vegetación, tenencia de tierra, conjunto de cultivos y tecnología agrícola (**Tabla 3**). Existe una variación regional importante con respecto a los patrones de cultivo de cada cinturón. Por ejemplo, en las comunidades Amaru y Paru-Paru en el Cusco, Perú, se pueden distinguir tres cinturones principales (Brush, 1989). 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 en cuatro años: maíz/haba, frijol/maíz/barbecho, maíz/maíz/papa o barbecho, y papa y cebada/haba, frijol /maíz /maíz.

El cinturón papa/haba/cereales, está compuesto por terrenos de pronunciadas laderas, los que se ubican entre los 3,600 y 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: haba/frijoles/trigo/arvejas/cebada y *Lupinus mutabilis*/cebada/haba/barbecho.

En las zonas de regadío, las rotaciones comunes son: papa/trigo/habas/cebada y papa o *C. quinoa*/cebada/arvejas/barbecho.

El cinturón de 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.

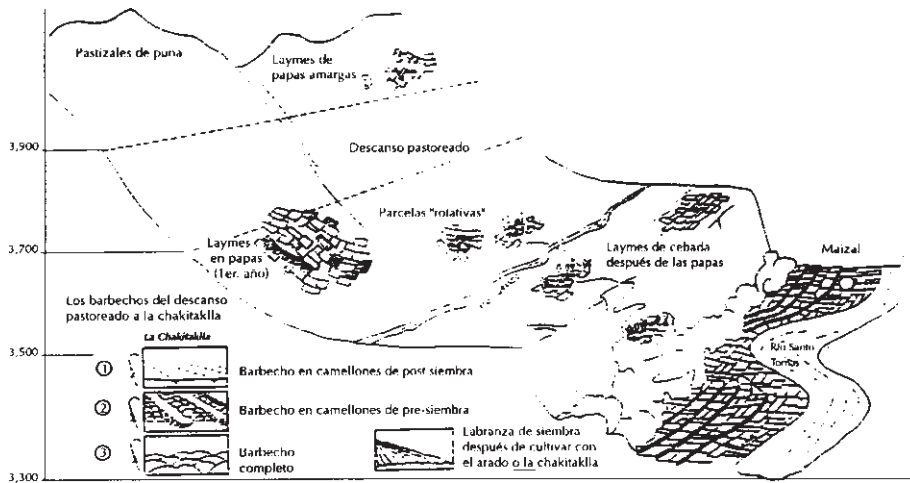
*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 1.** Zonas agroecológicas de los valles de Cajamarca y Mantaro, Junín (Tapia, 1990).

La complejidad del manejo espacio-temporal de la verticalidad ecológica, se pone de manifiesto en la **Figura 2** que ilustra las modalidades de cultivo y barbecho en la comunidad de Pullpuri, Cusco, que reconoce tres zonas de producción agropastoril (Bourliaud *et al.*, 1988).

- El maíz es una zona de terrazas irrigadas, anchas donde se practica el monocultivo del maíz en parcelas individuales, por debajo de los 3,600 msnm. Estas parcelas se barbechan de preferencia con arado.
- Las llamadas parcelas rotativas donde la duración del cultivo es superior a los tres años y el descanso pastoreado es corto (menos de cinco años) o ausente, gracias al aporte de fertilizantes orgánicos o minerales. El barbecho se efectúa solamente con chakitaklla, por ser suelos pesados y con pendiente.
- La zona de los mayles o sectores de rotación selectiva, entre los 3.600 msnm y 4.200 msnm. Antes de cada campaña agrícola la comunidad decide qué sectores serán cultivados, es decir barbechados con chakitaklla (arado andino) para sembrarlos con papa, primer cultivo de rotación. Le siguen uno a dos años de cultivo, de papa o de tubérculos andinos, y luego de cebada o trigo, sembrados con chakitaklla o con el arado. Cada uno de estos sectores está dividido en parcelas individuales, pero la comunidad fija la fecha de inicio del barbecho y de la siembra, así como la fecha de finali-



**Figura 2.** Manejo complejo espacio-temporal de la verticalidad ecológica en la comunidad de Pullpuri (Bourliaud *et al.*, 1988).

### Desarrollo de sistemas de producción sustentables

zación de las cosechas para que los sectores sean abiertos al rastrojo; los pastos naturales de altura están a disposición de todos los campesinos de la comunidad que tienen animales.

**Tabla 3. Zonas agroclimáticas de los Andes centrales**

Zona	Animales/cultivos principales	Tecnología agrícola	Tenencia de la tierra	Objetivo de producción
Pastizal sobre 3,800*	Alpacas, llamas, ovejas, ganado	Pastoreo	Propiedad y uso comunales	Mercado (lana) y subsistencia
Tubérculos 3,000-4,200*	Papas, quinua, cañihua, cebada, otros tubérculos (mashua, olluco, oca)	Azadoneo, arado estiércol como fertilizante	Propiedad comunal con uso individual	Subsistencia
Cereales 1,500-3,000*	Maíz, trigo, cucúrbitas, frijoles, frutas templadas y hortalizas	Animales de tiro, alguna mecanización, fertilizantes químicos	Propiedad y uso privado	Subsistencia (granos) y mercado (frutas y hortalizas)
Frutas tropicales 500-1,500*	Cacao, caña de azúcar, algodón, fruta tropical maíz	Principalmente agroindustrial	Propiedad y uso privado	Mercado

Según Brush, 1982. \*msnm

### SISTEMAS DE LABRANZA Y USOS DE LA TIERRA

La agricultura andina ha consistido en el acondicionamiento de un determinado espacio y en el rediseño de una parte del paisaje natural para obtener una producción alimentaria estable. Esto ha conllevado a estrategias uso de la tierra y de construcción de infraestructuras para acondicionar microclimas propios para la producción agropecuaria (andenes, cochas, obras hidráulicas, etc.). Se podría decir que en los andes predominan dos sistemas de manejo de suelos (Rengifo, 1987):

*Sistemas Mecánico Estructurales*, que consisten en modificaciones de la topografía de la ladera realizando grandes movimientos de tierra. A este sistema pertenece el grupo de andenes y terrazas, las de las cochas o fincas hundidas y las de camellones o waru-waru.

*Sistemas Bioculturales*, o conjunto de prácticas vinculadas al proceso de

producción agrícola, tales como la labranza, surcos en contorno, las rotaciones, descansos, aporques, etc. Estas prácticas pueden o no ser parte del sistema anterior, es decir que un surco en contorno puede ser hecho tanto dentro de una terraza como fuera de ella.

### *Andenes*

Las terrazas son uno de los rasgos más típicos del paisaje alto andino. Se calcula que existen más de 500,000 hectáreas bajo terrazas, de las cuales el 75% están abandonadas y semidestruidas. Las terrazas con superficies horizontales sostenidas por muros, fueron hechas con los siguientes propósitos (Rengifo, 1987):

- a) estabilizar los taludes;
- b) reducir las pendientes;
- c) disminuir la velocidad del flujo de las aguas a un régimen no erosivo; y
- d) ampliar el área agrícola.

Una ladera andenada proporciona un área agrícola que es microclimáticamente, mucho más homogénea que una ladera no andenada del mismo tamaño. En las ladera no andenada, con sus desniveles topográficos entre chacras, y hasta dentro de una misma chacra, se propicia la heterogeneidad microclimática. Es evidente que los andenes pueden almacenar más calor a partir de la radiación solar diaria, que una superficie llana o ladera. El calor absorbido por el muro será mayor si los andenes corren de este a oeste, con el frente hacia el norte (Earls, 1989).

El calor almacenado podría generar una mayor concentración de humedad debido al agua evaporada por el suelo caliente. Además la forma de escalones generaría turbulencia en la corriente de aire frío que desciende por la terracería, haciendo menos brusco el cambio en la temperatura que en una ladera sin andenes (Earls, 1989).

Entre otras, las ventajas técnicas del cultivo en andenes (Denevan, 1995) son:

1. En zonas de mucha lluvia, impiden que la tierra agrícola sea arrastrada por las aguas.
2. Es un medio eficaz de control de deslizamientos.
3. Favorecen y aumentan la infiltración.
4. Proporcionan una producción más segura que en tierras bajas.
5. Las rocas con que se construyen los andenes, abrigan el ambiente porque



### Desarrollo de sistemas de producción sustentables

almacenan calor para los cultivos.

6. El sistema de andenes es la única forma de dotar con canales de riego y manejar eficientemente el agua en las laderas.
7. Los andenes generan tres efectos microclimáticos en favor de los cultivos: almacenan más calor, elevan la humedad del aire y modifican las corrientes de aire.

Debido a estas ventajas ha habido muchas iniciativas que han pretendido reconstruir o restaurar andenes para el beneficio de varias comunidades agrícolas (Erickson y Chandler, 1989). Un proyecto financiado por el Estado Peruano PRATVIR (Programa de Acondicionamiento Territorial y Vivienda Rural) fomenta la reconstrucción de terrazas ofreciendo préstamos de bajo interés, semillas u otros insumos para reparar hasta 30 hectáreas de terrazas abandonadas (Treacey, 1989). Aunque la reconstrucción de terrazas puede ser muy demandante en mano de obra, hasta 2,000 hombres-día/ha, los resultados económicos de la reconstrucción de terrazas demuestran que los rendimientos de los cultivos pueden incrementarse significativamente en sistemas con terrazas debido a mayor retención de humedad *et al.* efectos microclimáticos (**Tabla 4**). En el Valle de Colca en Coporaque, se observaron incrementos de un 43-65% en los rendimientos de papas, maíz y cebada comparados con los rendimientos de los mismos cultivos en pampa (Treacey, 1989).

#### *Camellones o waru-warus*

En la pampa alrededor del lago Titicaca aún se pueden observar unas 82.000 has de camellones remanentes abandonados (Erickson y Chandler, 1989). En 1986 en la zona de Huatta se incorporaron hasta 500 familias en la reconstrucción de 30 ha de camellones y este programa con ayuda del gobierno, se expandió a unas 30 comunidades del altiplano, donde se estima que se han rehabilitado unas 100 has. Se ha estimado que una hectárea de camellones (aproximadamen-

**Tabla 4. Rendimientos de cultivos en terrazas reconstruidas en Cajamarca, Perú (kg/ha)**

Cultivos	Terrazas	Sin terrazas	Diferencia (%)
Papa	17,206	12,206	71
Maíz	2,892	1,807	18
Cebada	1,910	1,333	56
Cebada (forraje)	23,000	15,865	69

Treacey, 1989

te 6,000 a 7,000 m<sup>2</sup> de área cultivada) se puede reconstruir con 500 a 700 jornales y que los gastos efectuados se pueden recuperar con 3 a 4 años de cosecha. El área estimada donde se pueden recuperar camellones en el altiplano peruano, es de 30,000 a 35,000 has. efectivas de cultivo, siendo posible establecer rotaciones con papa-cebada-quinua-forraje que mejorarían sustancialmente la producción del Puno.

La reconstrucción experimental de estos waru warus demostró las siguientes ventajas ecológicas (Erickson y Chandler 1989):

- a) El sistema de terrenos elevados se considera como la mejor alternativa en superficies planas expuestas a heladas. Los camellones mejoran el microclima al elevar levemente la temperatura durante episodios de radiación de heladas. Esto se lleva a cabo dada la captura de energía solar durante el día y su liberación nocturna por el canal circundante.
- b) En los canales se reproducen algas fijadoras de nitrógeno, que al secarse, dejan una capa de tierra orgánica que mejora la fertilidad de los camellones.
- c) Los canales se pueden usar para drenar o conservar agua dependiendo de las necesidades hídricas.
- d) Los canales se pueden usar para la producción piscícola, aumentando así la disponibilidad de proteínas.

Se estima que la producción inicial, la reconstrucción cada 10 años, y la siembra, cosecha y mantenimiento anual de los camellones requiere unos 270 jornales por hectárea por año. La producción promedio de papas alcanzó en Huatta 8 a 14 ton por ha. En Caujata la producción de papa llegó a las 13 ton por ha y los de quinua a 2 ton sin necesidad de fertilizantes ni herramientas modernas.

#### SISTEMAS TRADICIONALES DE LABRANZA

##### *Labranza wachu*

La labranza *wachu* es típica en zonas altas de producción, denominadas laymes, es decir terrenos de administración comunal-colectiva, de secano, y donde se rotan cultivos y parcelas en un espacio determinado. Las tierras, luego de estar en producción una o más campañas agrícolas, “descansan” por períodos largos. Este sistema se caracteriza por ser utilizado en terrenos que tienen problemas de drenaje, y que generalmente, por el hecho de haber estado en descanso, poseen una cobertura vegetal de pastos naturales (Rengifo, 1987).

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

La particularidad de este sistema es el cortado y volteado del prisma del suelo o terrón (champa). Los surcos que se forman tienen aproximadamente de 0.50 a 0.60 m de altura y de 0.40 a 0.67 m de ancho. Estas medidas sufren variaciones de acuerdo al grosor de la capa arable, la ubicación topográfica y la cantidad de humedad que albergan, entre otros aspectos. El proceso de labranza está vinculado al uso de la chakitaklla.

En este sistema se forman camellones y surcos (verticales y perpendiculares) cuya estructura resulta más un sistema de drenaje de escorrentías que de riego. Los surcos verticales conducen el agua hacia los transversales que, además de colectores, retienen cada cierto trecho la masa de suelo que se erosiona. Si la magnitud de la humedad resulta reducida, los campesinos cierran las salidas de los surcos para evitar que los cultivos carezcan de ella.

La siembra se realiza al inicio del ciclo lluvioso (septiembre-octubre) y el terreno no requiere ninguna otra preparación. Para sembrar papas, que es usualmente el cultivo de entrada del ciclo de rotaciones, un campesino ayudado por su mujer u otra persona introduce la reja de la chaquitaklla unos 15 a 20 cm, lo suficiente para que las semillas alcancen la capa de mayor riqueza del suelo, es decir el área alrededor de la zona de descomposición vegetal.

Entre la aradura y la siembra es posible que, además del fenómeno aludido de la desestructuración del terrón, ocurra un proceso simultáneo de descomposición de la vegetación y mayor calentamiento de la parte interna del camellón. La elevación térmica derivada de la activación microbial existente es la responsable de la formación de humus y la conservación térmica de la zona donde se colocan las semillas. Earls (1989) señala que el crecimiento de las plantas durante las primeras semanas está más ligado a la temperatura del suelo que a la atmósfera. En este sentido, la elevación de la temperatura promedio en estas zonas frías, resultaría eficiente para el crecimiento de los cultivos.

Este proceso se puede repetir por uno o dos años consecutivos, dependiendo de la fertilidad del suelo. Usualmente en el segundo año, la parte del suelo que hizo de camellón se convierte en surco y viceversa. En esta campaña los campesinos suelen sembrar ocas, ollucos, mashua, solos o asociados. Si el tercer año es cultivado el suelo, se empareja para la siembra de cereales, principalmente cebada o avena. Luego de la cosecha el terreno es dejado en descanso por varios años.

#### *Labranza táya*

La labranza *táya* se practica en terrenos francos de buen drenaje. Se labra

removiendo todo el terreno a sembrar, quedando la superficie arada en condiciones parecidas a lo que podría quedar si fuera hecho con un tractor con su arado de disco. Las actividades pueden ser realizadas con instrumentos manuales como la barreta, el pico y también la lampa derecha y no necesariamente con la chaquitaklla.

Se realizan dos aradas previas a las siembras, una al final de las lluvias donde se rotura y voltean los prismas de tierra, y otra previa a la siembra. En este último momento hay una especie de labranza secundaria que consiste en el desterronado de las champas o prismas, con el objeto de desmenuzarlas y extraer de ellas los restos de los pastos secos que luego son quemados.

Luego se nivela el terreno y se hacen los respectivos surcos y camellones. La dirección de la nivelación depende mucho de la previsión climática que el agricultor realiza. Pueden ser curvas a nivel u oblicuas. En algunos casos, en especial en la zona de Cusco, cuando se considera que el año será de precipitaciones escasas, los surcos se entrecruzan a la manera de trenzas.

#### *Sistemas de labranza cero*

Los sistemas de labranza cero son sistemas de labranza directa en los que no existe labranza previa de ningún tipo. Este sistema se usa en ciertas zonas altiplánicas, en cultivos como quinua, tarwi y tubérculos.

#### SISTEMAS DE BARBECHO SECTORIAL

El mantenimiento apropiado de la productividad de un área depende de que se deje suficientes años en descanso, ya que cada año en producción, sin importar con que cuidado se trabaje, implica siempre una pérdida de suelo. El número de años que descansa un terreno es cuestión del control comunal que regula el uso de los terrenos (Fonseca y Mayer, 1988).

En condiciones ideales como las que operan en la comunidad de Miraflores, en la cuenca del Cañete, Perú, la comunidad es propietaria de toda la tierra y cada año asigna las tierras que han de ser utilizadas para un ciclo de cultivos de tres a cuatro años. Cuando la tierra comienza su período de descanso, pasa al control comunal y se utiliza para pastoreo. En este sistema, no sólo se rotan los cultivos, sino también los campos agrícolas. Ambas rotaciones están bajo el control comunal, como se muestra en la **Figura 3**.

La comunidad divide el territorio en varios grandes sectores, a la misma altura y cada uno con la misma capacidad productiva (Fonseca y Mayer, 1988).

### Desarrollo de sistemas de producción sustentables

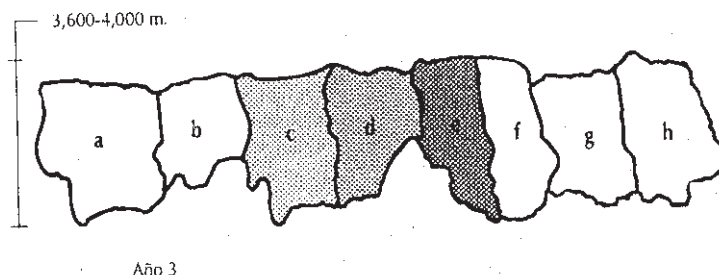


Figura 3. Sistema sectorial de rotación/descanso en la cuenca del Canete (Fonseca y Mayer, 1998)

El primer año se decide, por ejemplo, abrir el sector “c”. Cada familia con derecho a tierra recibe una o dos parcelas en ese sector. En Laraos, las familias regresan a sus terrenos originales, que son de propiedad individual, que pueden vender y transmitir libremente a otros miembros de la comunidad. Cuando se declara abierta la época de trabajo, cada familia romperá la tierra con sus chakitakllas y sembrará papas. En una fecha establecida las autoridades comunales, quizás antes de la ceremonia de distribución, convocarán a todos los agricultores a cerrar el cerco comunal que rodea todo el sector.

En el año dos el sector “d” será abierto en forma similar. En el sector “c” las familias plantarán mashua, oca y olluco, donde estuvieron las papas en el año anterior. El año tres se abre el sector “e” para la producción de papa, el sector “d” estará sembrado de tubérculos andinos, y el sector “c” con cebada. El año cuatro se abre el sector “f” y el sector “c” comenzará su primer año de descanso y quedará así hasta el año seis. La comunidad y cada agricultor trabajarán simultáneamente tres sectores, abriendo uno nuevo y asignando uno para el descanso cada año. Todas las familias campesinas siembran el mismo cultivo en cada sector y ese cultivo da la vuelta en el territorio comunal.

En un sistema de este tipo, el número de años de descanso depende de los años que cada sector se encuentra en producción, es decir, del ciclo de rotación y del número total de sectores que hay en la zona de producción.

#### SUBSISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA ANIMAL

Los subsistemas ganaderos en los Andes se definen como el conjunto de recursos que se utilizan para la producción pecuaria que puede traducirse en

carne, leche, cuero, lana, etc. y transporte, tracción, y producción de estiércol. Las características de los subsistemas están relacionadas también con la agricultura que se practique, dependiendo sustancialmente de los subproductos que se pueden obtener de los cultivos. El tipo de tenencia de la tierra y de acceso o no a variadas zonas agroecológicas determinan las condiciones para el tipo y cantidad de ganado. El principal componente del subsistema ganadero es el forraje, su cantidad y calidad determinan la productividad y la adaptación del tipo de ganado.

En su clasificación de los subsistemas ganaderos en los Andes, Canales y Tapia (1987) consideraron las siguientes características:

1. Intensidad: extensivo, semi-intensivo, intensivo.
2. Especie: vacuno, ovino, camélidos, animales menores.
3. Uso de especies forrajeras nativas (con y sin forrajes cultivados).
4. Productos obtenidos (lana, carne, fibra, etc).
5. El sistema de tenencia.

Para una clasificación en un medio tan variado como son los Andes, parece que la mejor alternativa es la de considerar varios parámetros. En una primera aproximación Canales y Tapia (1987) sugieren los siguientes subsistemas (ver además **Figura 4**):

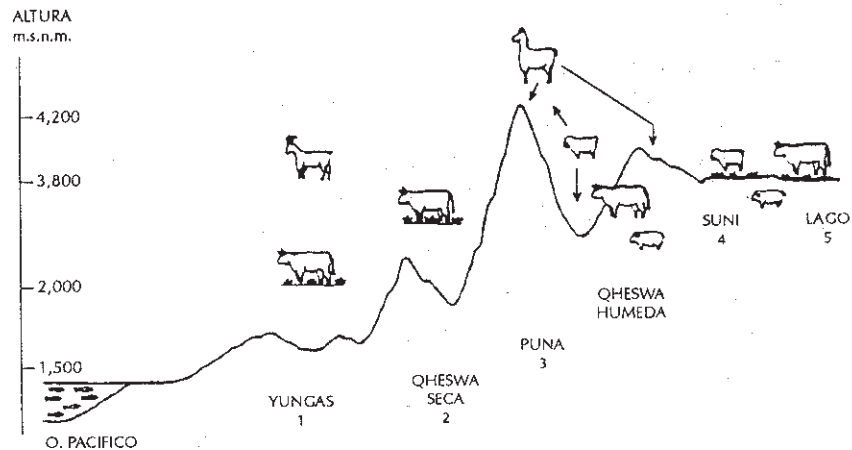
*a) Subsistema de producción de vacunos de leche*, semi-intensivo a intensivo en las condiciones secas de Yunga o Qheswa baja en base a alfalfa y subproductos agrícolas, en especial maíz.

*b) Subsistema de producción de vacunos de leche*, semi-intensivo a intensivo en valles interandinos de Qheswa baja con acceso a forrajes cultivados bajo riego (tréboles y ryegrass) y con el uso de concentrados.

*c) Subsistema de producción mixta con vacunos, ovinos*, camélidos y animales de granja de los valles interandinos y con acceso a la zona Qheswa, Suni y Puna. En este subsistema se utilizan todos los subproductos agrícolas de las diferentes zonas agroecológicas, por lo cual se puede considerar como un sistema semi-intensivo.

*d) Subsistema de vacunos de carne y ovinos*, semi-intensivo a extensivo en pastizales de la región Suni o Jalca, con o sin forrajes cultivados y conservados y/o acceso a forrajes subacuáticos.

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 4.** Distribución geográfica de los subsistemas ganaderos en los Andes del Perú (Canales y Tapia, 1987)

e) *Subsistema de camélidos y ovinos*, extensivo o semi-intensivo en la región de Puna, con o sin acceso a bofedales.

f) *Subsistema de producción de camélidos*, extensivo en condiciones de Puna seca y Janka, con acceso a vegetación de tola y/o bofedales.

**SISTEMAS DIVERSIFICADOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS**

Los agroecosistemas tradicionales andinos son genéticamente diversos, pues contienen poblaciones de cultivos variables y adaptados, y también especies silvestres emparentadas de los cultivos (Brush, 1982). Las poblaciones de variedades nativas consisten en combinaciones de líneas genéticas, todas las cuales están razonablemente adaptadas a la región pero que difieren en cuanto a su reacción frente a las enfermedades y a los insectos plaga (**Figura 5**). La diversidad genética resultante otorga una resistencia parcial a las enfermedades que son inherentes a determinadas variedades de cultivo y permite que los agricultores exploten diferentes microclimas, obteniendo usos múltiples a partir de la variación genética de una especie determinada (Querol, 1986).

En comunidades rurales se pueden encontrar hasta 50 variedades diferentes de papas y los agricultores andinos comúnmente cultivan 7-10 variedades de papas, la mayoría poseen un sistema taxonómico especial para clasificar las

papas (Brush *et al.*, 1981). En la medida que aumenta la altura, la agricultura comercial declina y el porcentaje de variedades nativas de papa se incrementa. Igualmente las zonas más lejanas de los centros urbanos y de mercado poseen generalmente una alta proporción (>63%) de sus campos sembrados con papas nativas (Brush, 1987).

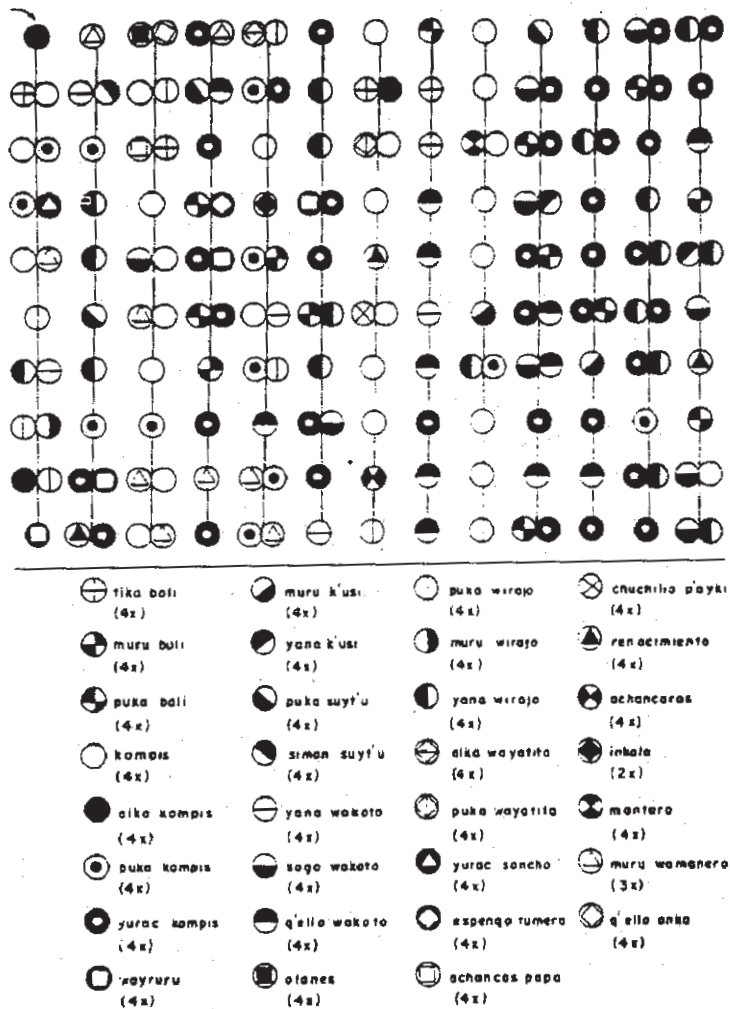


Figura 5. Distribución espacial de variedades nativas de papas en una chacra típica sembrada con mezclas (Rhoades, 1984)



### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

Existe controversia respecto a qué predomina en la agricultura andina: el policultivo o el monocultivo. En un sondeo realizado en 275 fincas en Ancash, Perú se encontró que el 86% de los campos se encontraban sembrados en monocultivos de trigo, papa y maíz. Sólo 14% de las fincas contenían policultivos de maíz-frijol. En otro sondeo en la Sierra Norte se encontró poca prevalencia del policultivo y donde éste predominaba eran asociaciones de maíz-papa, maíz-arvejas o maíz-habas. La siembra de franjas de quinua entre hileras de oca y ulluco también era común (Rhoades, 1984).

En comunidades campesinas altoandinas de Ayacucho, Perú entre los 3,000 y 4,000 metros, se observó que los llamados cultivos solos de papa, son en realidad mezclas en promedio de siete especies y/o variedades de papa. Los cultivos asociados de maíz y quinua y/o achita (*Amaranthus caudatus*) también contienen mezclas diversas de variedades, ampliando así la base genética de los sistemas de cultivos que es la alternativa más racional para enfrentar los riesgos climáticos y la heterogeneidad ambiental.

En esta misma región, en la zona agroecológica baja, los policultivos preponderantes son: el cultivo asociado maíz con líneas de quinua, y la mezcla de líneas de maíz con variedades de haba, arveja y calabaza.

Igualmente, existe evidencia que algunas comunidades campesinas manejan la vegetación forestal como parte integral de la finca a través de sistemas agroforestales, cercos vivos, bosquetes, etc. Es así como en algunas zonas es común ver sembrados al contorno de la chacra el quinoaquero (*Polylepis* spp.), o alrededor de las casas el saúco (*Sambucus peruviana*) o el capuli (*Prunus serotina*) para leña, uso medicinal o abrigo.

### LOS DESAFÍOS DEL DESARROLLO AGRÍCOLA EN LOS ANDES

Hoy en día existe preocupación por los niveles de pobreza rural, degradación ambiental y desintegración social-cultural que prevalecen en los Andes y que parecen ligados a presiones poblacionales, cambios en patrones de consumo y penetración capitalista (Brush, 1987). El cambio económico rápido ha sido estimulado por políticas erradas de desarrollo rural y por la infusión de grandes capitales internacionales. En medio de esta crisis e inestabilidad que parece invadir los Andes, una pregunta clave es: ¿Acaso las estrategias tradicionales de manejo de zonas productivas diversas con tecnologías autóctonas, un alto nivel de diversidad genética y diversos tipos de control social, podrán solucionar los problemas y satisfacer las demandas de los nuevos tiempos?

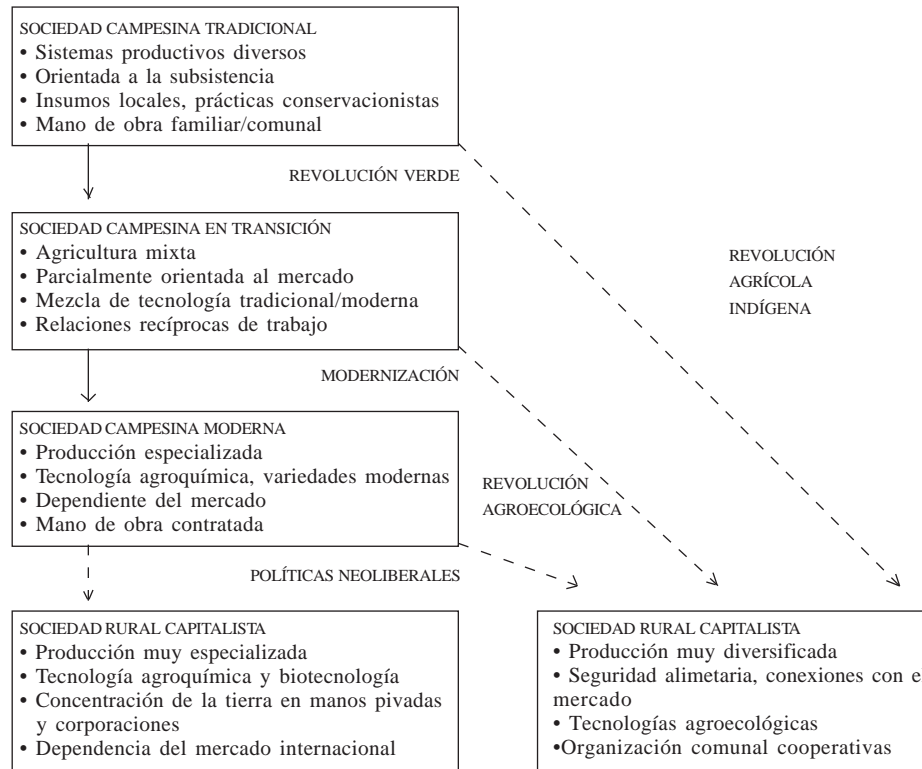
En muchas zonas se experimenta un aumento de los problemas de erosión genética, pérdida de fertilidad de suelos, incremento de plagas y enfermedades, elevado costo de los insumos de producción, y degradación general de sistemas de microcuencas (Fonseca y Mayer, 1988).

Hay quienes piensan que esta crisis ilustra el fracaso de muchos esquemas de desarrollo agrícola basados en modelos exógenos. Es por esto que numerosos investigadores han tornado la vista hacia los sistemas agrícolas andinos como alternativas viables para el desarrollo. El altiplano peruano y boliviano presentan muchas de estas alternativas posibles en forma de andenes, cochas y camellones en abandono. Estas son evidencias de una forma avanzada de la tecnología agrícola prehispánica, la que puede ser puesta en uso nuevamente. Uno de los mayores problemas que impide la rehabilitación de estos sistemas es la falta de una investigación sistemática sobre la cual cimentar el desarrollo. Es preciso entender cómo estos sistemas funcionaron en el pasado, antes de que puedan ser utilizados para recuperar la frontera agrícola. Para Erickson y Chandler (1989) la arqueología, en combinación con la agronomía, puede proveer una metodología para establecer modelos de trabajo que permitan la recuperación de éstos sistemas de un modo eficiente.

Para otros, como Brush (1987), dados los niveles poblacionales existentes y las demandas crecientes por una producción comercial para los mercados urbanos, el desempeño de la agricultura andina es insatisfactorio, y que aunque los sistemas tradicionales han sido efectivos para manejar el riesgo (por ejemplo sistemas de labranza que modifican el microclima, sistemas comunales de rotación y barbecho y el uso de una gran diversidad de cultivos y variedades), estas tecnologías son satisfactorias para mantener una producción de subsistencia, pero no para una producción intensiva comercial. El desafío es: cómo mejorar estas tecnologías para que generen mejor productividad e ingresos y que a la vez conserven los recursos naturales. Esta estrategia técnica deberá combinarse con políticas agrícolas regionales, nacionales y políticas de mercado y precios que sean compatibles con un enfoque agroecológico.

La pregunta no gira en torno a si es posible o cómo se puede retornar hacia los sistemas tradicionales de manera de superar los excesos y desajustes que han provocado la revolución verde, la modernización y las políticas neoliberales. La cuestión es cómo implementar una estrategia agroecológica que permita a los diferentes estados de organización en que se encuentra la sociedad campesina evolucionar hacia una sociedad rural sustentable (**Figura 6**).

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 6.** Evolución (o involución) de los sistemas campesinos andinos con el proceso de modernización y posibles rutas de evolución hacia una agricultura sustentable.

**PROPUESTAS ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA CAMPESINA ANDINA**

Definir e implementar una estrategia de desarrollo para la agricultura campesina andina ha sido una preocupación creciente de diversas ONG y de algunas instituciones gubernamentales e internacionales desde el inicio de los años 80. Entra estas preocupaciones hay varias tendencias o corrientes de pensamiento:

1. *La corriente campesinista*, que propone la vigorización de la cultura y la agricultura andina. Este grupo plantea que cinco siglos de intervención han

erosionado enormemente la competencia en la recreación de la agricultura y deteriorado significativamente la organización social y la religiosidad que les es propia. La erosión de los suelos y la baja productividad de las cosechas, son entre otras, algunas de las expresiones del mal momento en que está la cultura andina (Rengifo y Regalado, 1991)

Pero la erosión, como expresión cultural del deterioro, no es igual en todos los Andes, lo que significa que aún se pueden encontrar muchas áreas que funcionan como “comunidades paradigma de la cultura andina”, la competencia y el saber olvidado en otras áreas. Esto posibilita la reconstrucción y recreación del corpus cognoscitivo andino que tiene como base un saber étnico compartido, requiriendo para ello, apoyar la comunicación de saberes entre los propios ámbitos étnicos e interétnicos.

Este grupo, entre otras alternativas (Rengifo y Regalado, 1991), propone los siguientes cambios y tendencias en la estructura productiva rural:

- a) Modificación de la estructura productiva rural actual, basada en el uso extractivo e ineficiente de los recursos. Siembra de alimentos directos para el consumo humano en vez de utilizar las mejores tierras de riego para sembrar pastos para alimento de ganado. Ampliar el uso de cultivos nativos adaptados a las condiciones locales en vez de cultivos y flores para consumo de aves y la exportación.
- b) Modificación del sistema de tenencia de la tierra. Pasar del latifundio a la tenencia comunal de los recursos. Esta vía ofrece la ventaja de un uso más productivo y eficiente de los recursos, empleo de los insumos y conocimientos locales, reduciendo al mismo tiempo el uso de divisas que representan la importación de bienes de capital e insumos para la agricultura latifundista.
- c) Densificación demográfica del campo, vitalizando la vida aldeana. Este patrón ofrece ventajas significativas en el uso del espacio, respecto al modelo de crecimiento industrial que trae aparejado el sobrepoblamiento de las ciudades. Un proceso así descongestionaría en parte la población de las actuales urbes.

2. *La corriente eco-desarrollista* propone el desarrollo sostenible con la planificación de la producción agrícola sobre la base de un uso equilibrado y racional de los recursos naturales, desarrollando sistemas de producción ahorradores de energía. En muchos de estos proyectos, que a veces son impulsados e implementados por coaliciones institucionales (ONG, gobiernos locales,

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

universidades y organizaciones campesinas), el eje fundamental sobre el que se sustenta el desarrollo es la conservación de agua y suelos y la participación popular. Un ejemplo de este tipo de programas es CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sustentable de la Ecorregión Andina) organizado por el CIP y el IDRC, cuyos objetivos fundamentales son: entender los procesos que afectan a la base de los recursos en la ecorregión andina; entender los factores sociales y económicos que influyen en la toma de decisiones por parte de los agricultores; desarrollar modelos para el uso óptimo del paisaje agrícola, el mantenimiento de la biodiversidad; e implementar políticas que favorezcan la sustentabilidad.

Las actividades que CONDESAN enfatiza incluyen:

- a) conservación *in-situ* de recursos genéticos;
- b) producción de semillas de alta calidad;
- c) mejoramiento de la competitividad en el mercado;
- d) rescate de tecnologías indígenas;
- e) producción de material libre de enfermedades;
- f) diversificación de cultivos, etc.

En este tipo de proyectos, casi siempre cada comunidad campesina tiene identificados los problemas que limitan su desarrollo. Estos pueden ser la falta de canales, represas, bañaderos para sus animales, centro artesanal, falta de herramientas, sanidad animal, falta de insumos agrícolas, reforestación, pequeñas industrias, etc. En forma conjunta con el campesino se definen las necesidades prioritarias y la voluntad de la comunidad para satisfacerlas; luego se hacen las gestiones buscando el apoyo de la institución estatal o privada que puede ayudar a la comunidad a realizar la obra priorizada.

Entre las alternativas tecnológicas que enfatizan estos proyectos destacan:

- a) Instalación de granjas comunales para producir proteínas y estiércol orgánico que sustituya parcialmente a los fertilizantes químicos, sobre todo los nitrogenados.
- b) Bancos de germoplasma basados en una colección de material genético de los cultivos andinos para impedir la desaparición de ecotipos de algunos cultivos, y la realización de una selección masal para ir buscando el mejor material que permita aumentar los rendimientos. La promoción de ferias de semillas en diversas comunidades, de manera de promover el intercambio de material genético entre campesinos, ha sido una estrategia de conservación genética muy utilizada.

- c) Huertos hortícolas familiares a partir de almácigos comunales orientados a mejorar la dieta alimenticia del campesino.
- d) Rehabilitación de la tecnología andina, cuyo objetivo principal sea el de investigar las diversas formas tecnológicas practicadas por el campesino con el fin de revalorizarlas y hacerlas extensivas a todas las organizaciones agrarias.

3. *La propuesta agroecológica*, impulsada por decenas de ONG que incorporan un máximo de criterios de agricultura ecológica con el fin de experimentar un mejoramiento significativo en su rendimiento y productividad. Esto se logra enfatizando en los principios técnicos y usando criterios como el bajo o nulo uso de insumos extra-locales y el rescate o adaptación de tecnologías y sistemas tradicionales o externos, compatibles con la agricultura ecológica.

Dada la heterogeneidad de la organización y el uso de las unidades productivas, así como las complejas relaciones establecidas con los espacios microregionales, regionales y nacionales, estos grupos proponen las siguientes estrategias:

- a) Incorporación progresiva de técnicas agroecológicas, desde el rescate de técnicas tradicionales compatibles con el manejo agroecológico hasta lograr el diseño integral de la unidad productiva con el fin de vincular las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y socio-culturales.
- b) Determinación de los tamaños mínimos de unidades productivas requeridos para un manejo agroecológico, de acuerdo con los pisos altitudinales, potencial de recursos, estado de los agroecosistemas, etc.; esto posibilitará un reordenamiento de la tenencia de las tierras, la agrupación de campesinos o comunidades para la elaboración e implementación de propuestas agroecológicas.
- c) Eliminación de los efectos negativos del desarrollo agrícola convencional sobre los agroecosistemas, recuperación de los ecosistemas y su protección para un desarrollo ecológicamente sustentable;
- d) Racionalización del uso de los recursos naturales y medios de producción en función de criterios económicos que combinen la rentabilidad, el manejo sustentable y la conservación de los ecosistemas;
- e) Generación de organizaciones locales y regionales para la difusión de la agricultura ecológica y la gestión de normas que defiendan y promuevan nuevas estrategias de desarrollo rural.
- f) Incorporación de las propuestas agroecológicas a los planes y políticas de

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

desarrollo micro-regionales, regionales y nacionales.

Los criterios técnicos básicos que han guiado estas iniciativas incluyen las siguientes premisas:

1. Ser una agricultura ecológica, que no destruya, sino que potencie los recursos naturales.
2. Aprovechar racionalmente los recursos locales, en especial el uso intensivo de la mano de obra en actividades agropecuarias.
3. Recuperar, conservar y manejar adecuadamente los suelos y el agua.
4. Usar la mayor diversidad de cultivos, hierbas, arbustos, árboles y animales.
5. Implementar la asociación y rotación de cultivos.
6. Tratar de crear microclimas a través de cercos vivos y de cortavientos.
7. Recolectar, almacenar y utilizar los desechos orgánicos, minerales, etc.
8. Recuperar y revalorar los cultivos andinos (quinua, kiwicha, tarwi, etc.), diversificar los cultivos y garantizar la seguridad alimentaria nutricional.
9. Impulsar la reforestación con frutales y forestales nativos y exóticos.
10. Promover el cultivo de hortalizas nativas e introducidas.
11. Manejar adecuadamente los animales menores y mayores, mediante técnicas sencillas.
12. Utilizar implementos y técnicas modernas y adecuadas que hagan más eficiente el trabajo campesino.

Aunque se han realizado pocas evaluaciones de los impactos de las intervenciones agroecológicas, la sistematización de la propuesta agroecológica de IDEAS una ONG que trabaja con comunidades campesinas en San Marcos, Cajamarca, Perú ilustra el potencial de la agroecología en esta zona agrícola (Chávez *et al.*, 1989). Esta propuesta consiste en un rediseño predial a partir de un plan de asociación-rotación de cultivos en una parcela de condiciones y tamaño promedio típicas de los predios campesinos (**Tabla 5**).

La diversidad y ubicación de los cultivos, tal como lo expresa la Tabla 5, son dos de los factores que ayudan a recuperar la fertilidad del suelo. Aunque también se cuenta con la influencia de otros elementos como:

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

- a) la permanencia de los restos de cosecha *in-situ* y su incorporación al momento de barbecho de la siguiente campaña;
- b) el descanso de los lotes con la rotación de cultivos, al ser explotados a diferentes profundidades, debido al sistema radicular diverso de los mismos;
- c) la presencia, hasta en un 50%, de leguminosas que aportan nitrógeno por fijación simbiótica;
- d) el incremento de leguminosas nativas por la facilidad que se le da para su multiplicación natural y la incorporación de composta, según la disponibilidad de los insumos de abono orgánico;
- e) la presencia de excretas animales en forma directa, al realizarse el pastoreo.

**Tabla 5. Asociación-rotación de cultivos en la parcela experimental de IDEAS, en Cajamarca**

<b>Lote</b>	<b>1er. año sept. 85-may. 86</b>	<b>2o. año sept. 85-may. 86</b>	<b>3er. año sept. 85-may. 86</b>
1	Maíz, frijol, quinua, kiwicha, zapallo y chiclayo	Trigo	Cebada
2	Cebada	Lupinus y lenteja	Linaza
3	Trigo	Avena y habas	Maíz, frijol, quinua, kiwicha, zapallo y chiclayo
4	Centeno	Trigo	Lenteja
8	Lupinus	Maíz, frijol, quinua Kiwicha, zapallo y chiclayo	Trigo
9	Descanso	Linaza	Avena y lenteja

Tres campañas: 1985-1988

Después de tres años de desarrollo de la experiencia en el predio demostrativo se constataron los siguientes resultados:

1. El contenido de materia orgánica de los diferentes lotes tiende a incrementarse del nivel bajo y medio de fertilidad (según parámetros determina-



### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

dos por el laboratorio) respectivamente, hacia los niveles medio y alto. Existen varias razones que fundamentan el incremento de materia orgánica:

- a) presencia de rastros de los cultivos, luego de la cosecha;
- b) vegetación herbácea durante el ciclo agrícola (se practica el desyerbe siempre que haya competencia) se va usando gradualmente como forraje para animales;
- c) deyecciones de los animales durante el pastoreo;
- d) aportes de composta, según la disponibilidad en el predio;
- e) abonos verdes, con el crecimiento de malezas al inicio de las primeras lluvias y la incorporación al momento del barbecho, en cada campaña agrícola.

2. En todos los casos se constató que se consigue una mayor cantidad de alimentos por hectárea en el policultivo *versus* el monocultivo. Es por eso que los campesinos siembran la asociación maíz-frijol-quinua-kiwicha-calabaza en una mayor extensión de su parcela. La productividad por jornal de esta asociación fue mayor que la del mercado en las tres campañas.

Para cultivar alrededor de una hectárea, con la cartera de cultivos descrita, se requiere un poco más de 100 jornales, aproximadamente 15 jornales-yunta; unos 100 kilos de semilla. Los resultados obtenidos son de seis a diez veces la cantidad de semilla sembrada, una productividad por jornal muy por debajo del cotizado en el mercado. Sin embargo, se espera que esta productividad mejore significativamente en la medida que se requiera menor mano de obra, al evidenciarse una capacidad del sistema de autosubsidiar su funcionamiento dadas las sinergias ecológicas que nacen del diseño y que permiten regular la fertilidad del suelo, las poblaciones de plagas y las enfermedades.

### REQUISITOS Y COMPONENTES TÉCNICOS DE UNA PROPUESTA AGROECOLÓGICA ANDINA

#### *Requisitos de una agricultura sustentable*

Los requisitos 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, pero estable, de productividad. Para enfatizar la sustentabilidad ecológica a largo plazo, más que la productividad a corto plazo (Edwards *et al.*, 1993), el sistema debe:

- a) Reducir el uso de energía y recursos.
- b) Emplear métodos de producción que restablezcan los mecanismos homeostáticos conducentes a la estabilidad de la comunidad biótica, a las tasas de reciclaje de materia orgánica y nutrientes, a la utilización máxima de la capacidad multiuso del sistema y al fortalecimiento de un flujo eficiente de energía.
- c) Fomentar la producción local de productos alimenticios adaptados al entorno socioeconómico y natural.
- d) Reducir los costos y aumentar la eficiencia y viabilidad económica de los pequeños y medianos agricultores, fomentando así un sistema agrícola potencialmente resiliente y diverso.

El grado en que un agroecosistema aumenta su sustentabilidad dependerá básicamente de un manejo agroecológico (Altieri, 1995 y Reijntjes *et al.*, 1992) que conlleve a la optimización de los seis procesos siguientes :

1. Disponibilidad y equilibrio del flujo de nutrientes. La productividad de un agroecosistema está directamente relacionada con la magnitud del flujo, movilización y conservación de nutrientes, lo que, a su vez, depende del suministro continuo de materia orgánica y de la promoción de la actividad biológica del suelo.
2. Protección y conservación de la superficie del suelo. El manejo de la cubierta vegetal mediante el uso de cultivos de cobertura, *mulch* y prácticas de cero labranza que minimizan la erosión, es una medida eficaz de conservación de suelos y agua. La cubierta protectora debe además proteger al suelo de la oxidación u otro deterioro químico. El deterioro físico, debido a la compactación y pérdida de estructura producto de las precipitaciones, puede ser igualmente desastroso. La cobertura permanente o la cubierta con residuos del cultivo proveniente de sistemas manejados apropiadamente, es crucial para mantener el potencial productivo.
3. Utilización eficiente de los recursos de agua, luz y suelo. Es importante reducir al mínimo las pérdidas debidas a los flujos de radiación solar, aire y agua, a través del manejo del microclima, la humedad y el control de la erosión.
4. Manutención de un alto nivel de fitomasa total y residual. Con el fin de sostener la biología del suelo y la productividad animal y vegetal es de vital importancia mantener una fitomasa residual alta como fuente de carbono,

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

que aporte energía y facilite la retención de nutrientes. Esto se logra adicionando materia orgánica, con el uso de leguminosas, la integración animal, y removiendo de la cosecha una porción pequeña de nutrientes en relación a la fitomasa total.

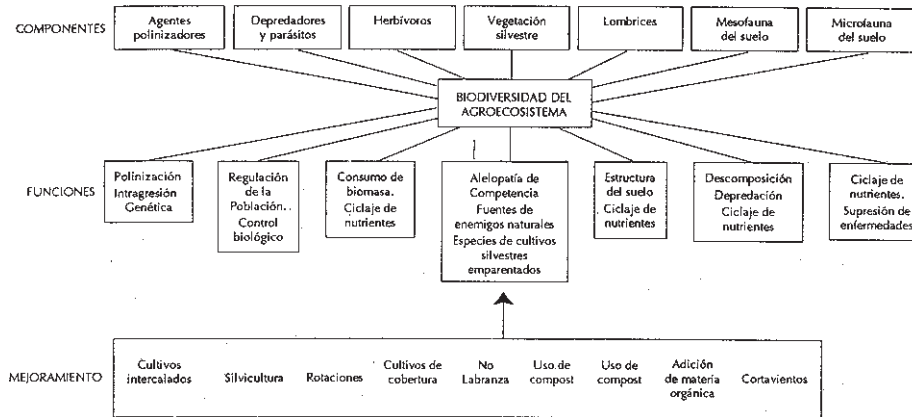
5. Explotación de la adaptabilidad y la complementariedad en el uso de recursos genéticos animales y vegetales. Esto implica la utilización de variedades y razas autóctonas y rústicas adaptadas a la heterogeneidad ambiental existente y que respondan a un manejo bajo en insumos.
6. Preservación e integración de la biodiversidad. La eficiencia del reciclaje de nutrientes y la estabilidad frente al ataque de plagas y enfermedades al sistema, dependen de la cantidad y tipo de biodiversidad presente, así como de su organización espacial y temporal (diversidad estructural), y en especial de sus interacciones y sinergias (diversidad funcional). Los agroecosistemas tradicionales, especialmente aquellos en ambientes marginales, poseen a menudo una estabilidad y una elasticidad importante, como resultado del alto nivel de diversidad estructural y funcional que se deriva del uso de policultivos, sistemas agroforestales, y sistemas mixtos cultivos/animales.

De todos los procesos mencionados, la manutención de la biodiversidad y de los mecanismos de reciclaje de nutrientes son claves para el diseño de agroecosistemas sustentables. Además de proveer la base genética de los cultivos y animales, la biodiversidad presta una infinidad de servicios ecológicos, tales como el reciclaje de nutrientes, la supresión biológica de plagas y enfermedades, el control del microclima local, la desintoxicación de compuestos químicos nocivos y la regulación de procesos hidrológicos (**Figura 7**). Cuando estos servicios naturales se pierden, debido a la simplificación biológica del monocultivo y los plaguicidas, los costos ambientales y económicos son importantes. Económicamente los costos en la agricultura incluyen la necesidad de suplir a los cultivos con alto uso de insumos externos, debido a que cuando los agroecosistemas son privados de la diversidad biológica, son incapaces de subsidiar su propia fertilidad y de regular las plagas. Cuando ocurren contaminaciones con plaguicidas y/o nitratos, los costos implican a menudo una reducción en la calidad de vida, debido a la degradación del suelo y de la calidad del agua y los alimentos.

Un agroecosistema sustentable posee características similares a los de un ecosistema natural maduro (Altieri, 1992):

- a) Alta diversidad de especies y cadenas e interacciones tróficas complejas.

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 7.** Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad funcional en agroecosistemas (Altieri, 1992)

- b) Ciclos minerales relativamente cerrados que capturan nutrientes y evitan su lixiviación.
- c) Una relación entre productividad y fitomasa que decrece, y donde la energía se utiliza más para la manutención del sistema que para la producción de fitomasa adicional.
- d) Mantenimiento de poblaciones estables de insectos, patógenos y malezas que dependen de diversidad y eficiencia de depredadores, parásitos, competidores y antagonistas.
- e) Descomposición de la materia orgánica que depende no sólo de la diversidad de microorganismos e invertebrados, sino también de las complejas interacciones entre los organismos del suelo.

Utilizando estas características y comparando la estructura de un agroecosistema a la de un establo (Edwards *et al.*, 1993), se puede indicar que, en relación a un agroecosistema sustentable, un sistema convencional de monocultivo carece de un techo funcional (biodiversidad), una fundación sólida (suelo biológicamente activo), pilares firmes (reciclaje de nutrientes) y murallas que aislen efectivamente al sistema (que prevenga pérdidas de nutrientes, entre otros) (**Figura 8**).

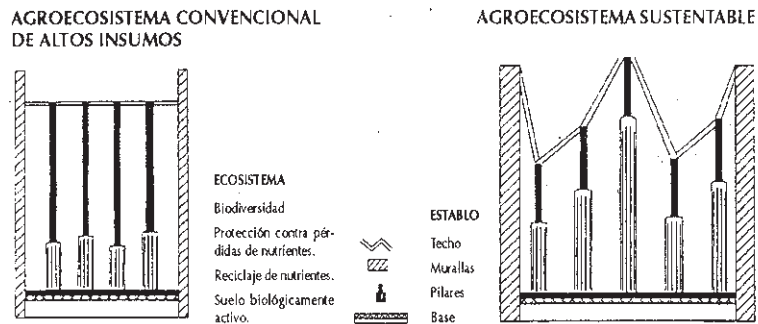


Figura 8. Comparación entre un agrosistema tradicional y uno sustentable utilizando la analogía de la estructura de un establo (modificado de Edwards y otros, 1993).

#### SISTEMAS Y TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA

En términos prácticos, la aplicación de los principios agroecológicos se traduce en una serie de estrategias y sistemas alternativos de producción que pretenden estabilizar la producción, bajar los riesgos, adaptarse a las condiciones biofísicas imperantes, conservar la base de recursos y hacer un uso eficiente de los recursos localmente disponibles. Entre las estrategias agroecológicas de mayor potencial para mejorar la agricultura campesina andina se pueden mencionar las siguientes:

##### 1. Manejo agroecológico de la heterogeneidad y verticalidad ambiental:

La verticalidad actúa creando oportunidades ambientales para diseñar sistemas diversificados de producción de cultivos y animales, aunque a la vez restringe los ámbitos de expansión de cada actividad agropecuaria. Esto ha forzado a los agricultores a mantener zonas diversas de producción y ciclos, lo que a su vez ha conllevado a la creación de tecnologías que hagan uso eficiente de la tierra y mano de obra que superan las limitaciones ambientales inherentes como pendiente, extremos climáticos y suelos marginales. Usando este mismo oportunismo ambiental, la implementación de una estrategia agroecológica complementaria de dispersión de riesgos y la complementariedad de zonas ecológicas distintas que funcione y rinda sus frutos, consiste en que las potencialidades de cada estrato ecológico se aprovechen al máximo.

Lo anterior exige: a) evaluación correcta de tales potencialidades; b) com-

prensión de todas las particularidades ecológicas locales; c) gran variedad de tecnologías y sistemas de producción correspondientes a la gran variedad del medio ambiente; cada piso ecológico requiere un conjunto particular de técnicas adecuadas; y d) decisiones diarias sobre el manejo técnico en función de los tres puntos que preceden y de la importancia en la actividad agropecuaria de los factores impredecibles, tales como el clima y las enfermedades.

Todo ello supone que para cada entidad agropecuaria el centro de decisión real (el campesino individual, la familia) sea responsable de una cantidad de tierras y animales no mayor de la que pueda manejar eficientemente (Morlon *et al.*, 1982).

## 2. Manejo agroecológico a nivel de cuenca

Este enfoque requiere trascender los límites de la parcela agrícola y de las zonas de producción que constituyen los recursos productivos administrados comunalmente. A nivel de cuenca el investigador no sólo se enfrenta al factor geográfico-ecológico que produce variaciones en las condiciones naturales que afectan a la producción agrícola, sino que además a la heterogeneidad determinada por el conjunto de comunidades, pequeñas propiedades, cooperativas agrícolas, etc., que representan el total de unidades de explotación agropecuaria con sus diversos sistemas de rotación, regímenes diferenciales de tenencia de tierra, etc. (Fonseca y Mayer, 1988).

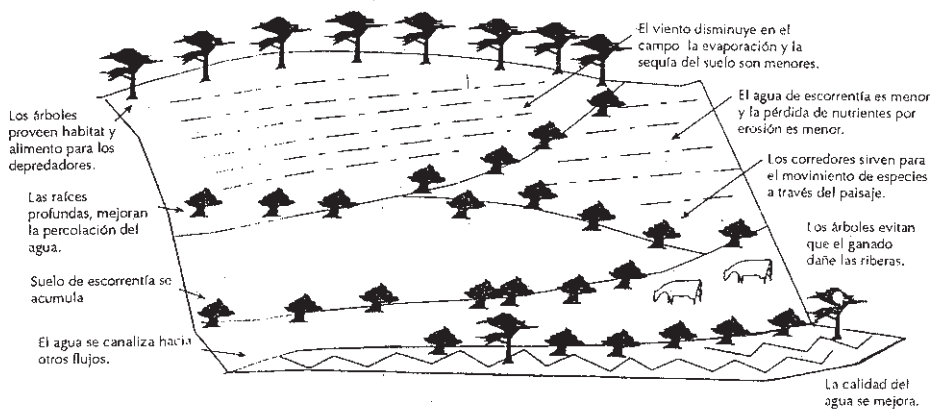
Hoy en día existe consenso en considerar a la cuenca hidrográfica, especialmente en las zonas altas, como una unidad territorial natural y básica que constituye un marco apropiado para la planificación regional y micro-regional, ya que integra a los habitantes rurales y su entorno.

La consideración de las cuencas hidrográficas como marco de planificación integral se basa en que en este ecosistema el recurso hídrico es el elemento unificador, cuyo manejo y aprovechamiento se vincula al de otros recursos renovables (vegetación, suelos, fauna, etc.) y a los humanos: del manejo y conservación del agua depende en alto grado la seguridad y el desarrollo hidroenergético, agropecuario, industrial y urbano de la región (CEPAL, 1986).

Los principios y conceptos de ecología del paisaje adquieren una importancia vital para el diseño y manejo de agroecosistemas andinos concebidos como un conjunto de mosaicos en una cuenca fragmentada. Estos paisajes funcionan como unidades donde los procesos de reciclaje, flujos de agua, etc. funcionan a diferentes niveles dependiendo del nivel de fragmentación y del manejo que se da a los sistemas insertos en la cuenca. Además de campos cultivados, una cuenca

### Desarrollo de sistemas de producción sustentables

contiene bosques, pastizales, huertos, quebradas y ríos, evidenciándose en estas interacciones complejas entre humanos, suelos, plantas, animales, etc. En el paisaje los nutrientes y la energía están en constante movimiento y el cambio ecológico en una de sus partes puede generalmente afectar a extensas áreas circundantes o cuenca abajo. Por lo tanto, según como se estructure una cuenca y se ubiquen los campos y praderas, y las prácticas de cobertura de suelo que operen, se puede afectar positiva o negativamente la calidad del agua, el suelo y la biodiversidad general (**Figura 9**). En este sentido, el diseño de sistemas de conservación de suelos y aguas utilizando corredores biológicos de vegetación pueden jugar un papel primordial en la dinámica ecológica de la cuenca.



**Figura 9.** Efectos de la estructura del paisaje en la dinámica de agroecosistemas a nivel de una microcuenca

Hay cuencas hidrográficas que requieren el manejo cuidadoso de la cobertura vegetal para reducir la sedimentación en las presas hidroeléctricas. Dentro de estas cuencas se realizan actividades de agricultura y ganadería que requieren mejorarse mediante la introducción del árbol en forma de plantaciones, uso de técnicas agroforestales y mediante el manejo de la vegetación natural para la conservación o recuperación de suelos (Lojan, 1992).

### 3. Sistemas agroforestales

Aunque el minifundio que predomina en la parte alto andina se ha considera-

do como un obstáculo para la reforestación, con las nuevas técnicas agroforestales se ha probado que pueden plantarse especies leñosas nativas o introducidas (**Tabla 6**) para uso agrícola múltiple en los linderos, junto a los cultivos, dentro de los potreros y en otros lugares para obtener múltiples beneficios (Lojan, 1992) por ejemplo:

- a) La utilización de árboles y arbustos productores de forraje es mínima o nula en algunos lugares, aun en ciertas comunidades que poseen animales para su economía. Para estos casos hay varias especies arbóreas que pueden utilizarse para la alimentación de animales, en especial en el periodo seco. Con el manejo adecuado es posible mejorar la calidad y la cantidad de forraje proveniente de plantaciones agroforestales. Se pueden formar bancos de proteína para complementar las raciones alimenticias.
- b) La alimentación humana se puede complementar usando el potencial que ofrecen algunas especies tales como el guato o cachafrito *Erythrina edulis*, la lucuma *Pouteria lucuma*, la joyapa *Macleania* spp y otras que actualmente tienen poca difusión.
- c) Las tierras semiáridas pueden ser aprovechadas con árboles que dan frutos comerciales o forrajeros como la tara *Caesalpinia tinctoria*, el faique o guarango *Acacia macracantha*, el churqui *Prosopis ferox*, aunque tarden varios años en iniciar su producción.
- d) En la recuperación de suelos degradados se pueden utilizar especies leguminosas como el mutuy *Cassia* spp, que protege el suelo con su copa y aporta materia orgánica con la caída de las hojas.
- e) El consumo de leña seguirá siendo alto en el campo, por lo cual las especies leñosas tienen mucha importancia y deberán plantarse todo el tiempo. Con las técnicas de la agroforestería y la utilización de especies apropiadas

**Tabla 6. Algunas especies forestales nativas de la sierra\***

Especie forestal	Nombre común
<i>Alnus jorullensis</i>	Aliso
<i>Escallonia resinosa</i>	Chachacomo
<i>Plylepis incana</i>	Queñual
<i>Buddleja coriacea</i>	Colle
<i>Psidium</i> sp.	Guayabo silvestre
<i>Schinus molle</i>	Molle

\* Brandbyge y Hoklm Nielsen, 1987



### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

das todos los campesinos podrán disponer de esta materia prima para satisfacer sus necesidades de combustible.

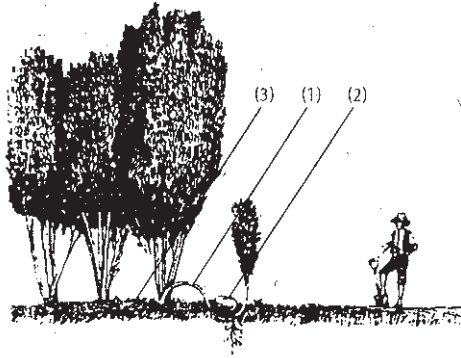
Dentro de los varios diseños agroforestales que se han propuesto para los agroecosistemas andinos se destacan (Reynel y Felipe-Morales, 1987):

- a) Bosques de especies nativas con sotobosque de especies arbustivas y herbáceas silvestres.
- b) Bosques para la producción de tierra compostada, conjunto de árboles con una elevada producción de follaje que se deposita y se descompone sobre el suelo, originando un mantillo de materia orgánica con excelentes propiedades como fertilizante (**Figura 10a**).
- c) Barreras vivas para la formación lenta de terrazas (**Figura 10b**).
- d) Cortinas de vegetación contra las heladas (**Figura 10c**).
- e) Cercos vivos para cobijar cultivos (**Figura 10d**).
- f) Introducción de árboles en sistemas de cultivo, sembrando especies forestales dentro de los cultivos que son establecidas a un distanciamiento algo mayor que el normal (**Figura 10e**).

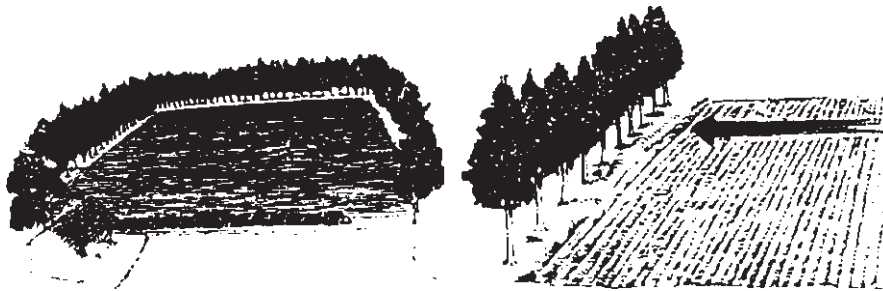
#### 4. Integración animal

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 fertilizantes para el manejo de 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 (Edwards *et al.*, 1993).

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 (Canales y Tapia, 1987).



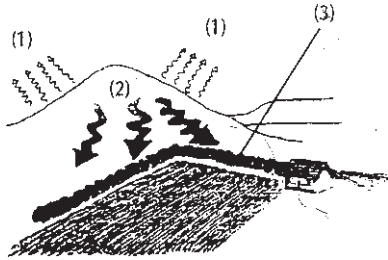
**Figura 10a.** Bosquete para la producción de tierra compostada. Se acodan ramas de colle (*Buddleja coriacea*) (1), poniendo encima un peso (2). Una vez densificado el bosque, el follaje y el humus que se deposita en el suelo (3) es fuente de abono para los terrenos de cultivo.



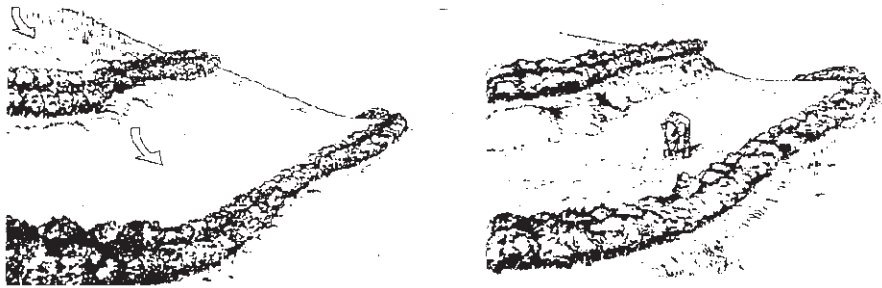
**Figura 10b.** Barreras vivas con formación lenta de terrazas para uso agrícola. Se establecen barreras vivas de manera transversal a la pendiente con la finalidad de interceptar la escorrentía. Las barreras propician la acumulación del material de arrastre y la modificación de la pendiente formando terrazas naturales.

La adopción de sistemas integrados cultivo-animales compuestas por una rotación cultivo-praderas en la que los animales se manejan estabulados o con pastoreo rotativo, dependiendo del área disponible (**Figura 11**) pueden ofrecer varios beneficios:

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



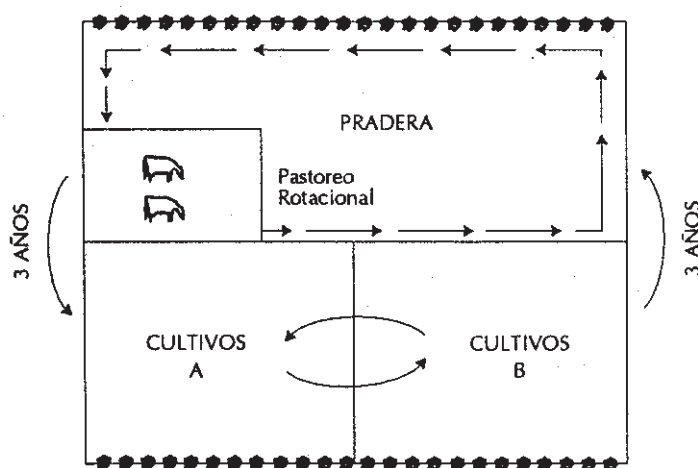
**Figura 10c.** Cortinas de vegetación contra las heladas. La helada se forma durante la noche por irradiación del calor acumulado en la superficie del suelo, sobre todo en las partes altas y carentes de vegetación. (1) Se forman masas pesadas de aire frío, (2) que descienden y afectan a los cultivos. (3) Estos pueden protegerse estableciendo cortinas densas de vegetación.



**Figura 10d.** Cerco vivo cobijando un cultivo: la mejora microclimática obtenida por la presencia del cerco favorece la salud y productividad del cultivo. También brinda condiciones de frescura y cobijo al comunero que habita cerca. En relación directa a la cercanía del cerco vivo mejoran: temperatura de la superficie del suelo; contenido de materia orgánica; fertilidad; estructura; aireación y humedad



**Figura 10e.** Cultivo mixto de especies forestales y agrícolas.



**Figura 11.** Integración de cultivos, pradera y animales en un diseño predial de rotación y pastoreo rotativo

- La pradera carga al sistema con nutrientes y materia orgánica y el ciclo de cultivos actúa como una fase extractiva de nutrientes acumulados.
- La rotación incrementa la producción de cultivos y residuos, mejora la cobertura del suelo e interrumpe los ciclos de vida de plagas, enfermedades y malezas.
- El pastoreo rotativo es un método eficiente que provee forraje en forma constante a los animales, permitiendo el retoño rápido del pasto y la distribución pareja del estiércol en el campo. Lo importante es seleccionar razas adaptadas de un tamaño adecuado y requerimientos nutricionales bajos de manera de no ejercer una presión muy alta sobre la pradera.

#### 5. Policultivos y rotaciones

Aunque en muchas comunidades campesinas altoandinas (por ejemplo Ayacucho) los agricultores siembran maíz asociado con achite (*Amaratus caudatus*) y quinua, y otras mezclas tales como quina-oca u olluco, existe un gran potencial para desarrollar asociaciones mutualísticas de cultivos destacando varias mezclas posibles de plantas anuales (CORDEPUNO-INIPA, 1987):

- Mezcla de una especie de porte alto y otra de porte bajo (maíz-frijol).

### *Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

- b) Mezcla de dos cultivos de porte alto, donde uno de ellos es de crecimiento más lento (yuca con maíz).
- c) Con cultivo de porte bajo y rápido crecimiento y otro de desarrollo inicial lento (soya con hortalizas).
- d) Cultivos precoces bajo un cultivo de porte alto.
- e) Cultivos de porte similar pero de períodos vegetativos diferentes.
- f) Cultivos con susceptibilidad diferencial a factores ambientales (heladas, enfermedades).
- g) Cultivos que se complementan nutricionalmente (maíz con achite o quinoa).

La selección de variedades apropiadas para las asociaciones es un factor crucial. Por ejemplo, en Ayacucho, Perú las variedades de maíz Morocho 501, Morocho ayacuchano y opaco huaras asociadas con achite mostraron valores de LER de 1.57, 1.31 y 1.20 respectivamente, mientras que otras variedades exhibieron  $LER < 1$ . El sistema de siembras en la asociación también es importante para determinar la productividad del policultivo. La asociación oca-olluco en franjas muestra  $LER < 1$  mientras que la siembra intercalada en la misma hilera, o la siembra asociada de oca y olluco en el mismo golpe exhibieron LER de 1.73 y 2.06 respectivamente. Las rotaciones tradicionalmente utilizadas por los agricultores se pueden mejorar utilizando cultivos como haba, arveja, tarhui que sirvan como abono verde. Estudios realizados en Cochabamba, Bolivia han demostrado el gran aporte de nitrógeno al suelo del tarhui y su efecto residual positivo en cebada dentro de un sistema de rotación (CORDEPUNO-INIPA, 1987).

#### 6. Mezclas de variedades

La vulnerabilidad de agroecosistemas simplificados genéticamente está bien demostrada por las epidemias de enfermedades que han devastado varios cultivos en muchas regiones del mundo (Querol, 1986). En este sentido, la inclinación hacia la uniformidad genética promovida por la revolución verde, fomentando la siembra de variedades mejoradas a expensas de la diversidad nativa es preocupante. Esta tendencia debe revertirse impulsando programas de conservación *in-situ* de la diversidad de especies cultivadas y de especies silvestres emparentadas a los cultivos, así como la enorme diversidad de variedades, en especial de papas. Cruces naturales entre cultivos, malezas y especies silvestres emparentadas se pueden fomentar manteniendo vegetación natural dentro o alrededor de los campos. Por su parte, la manutención de una alta diversidad de

variedades da resistencia horizontal y vertical al sistema contra patógenos y plagas prevalentes. Además, la conservación de especies de papas nativas ( p.e. *S. demissum*) es buena fuentes de resistencia a enfermedades fungosas como la racha, la rona, la verruga y las manchas foliares (CORDEPUNO-INIPA, 1987). Incluso, resultados experimentales sugieren que el incremento de la diversidad genética a nivel de campo puede tener efectos sobre insectos plaga. Mezclas de cultivos de papas tuvieron menor incidencia del minador *Liriomyza huidobrensis*, que papas sembradas en monocultivos uniformes (Ewell *et al.*, 1994).

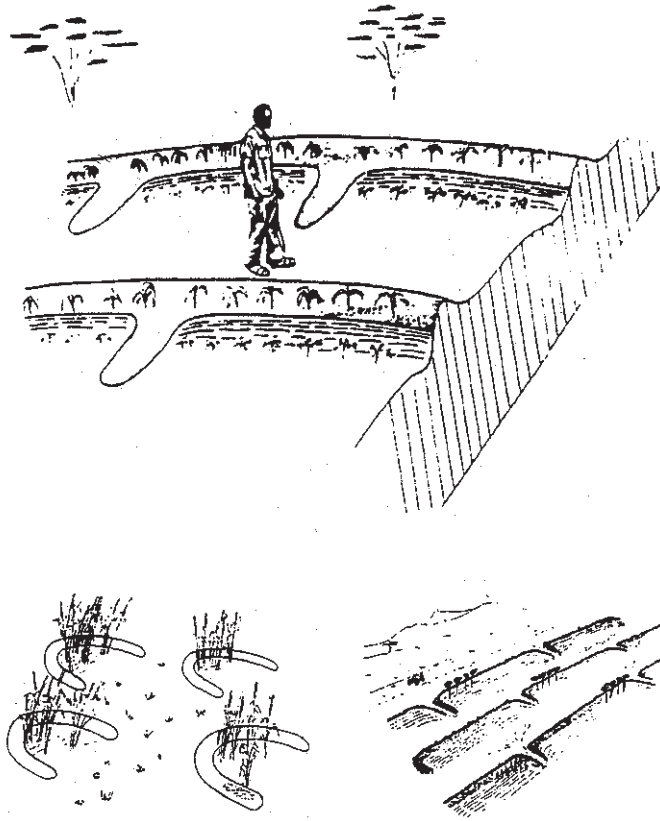
#### 7. Cosecha de agua

La lluvia es altamente estacional en los Andes, y se hacen con mayor frecuencia impredecibles, por lo que la fragilidad de los agroecosistemas se ve cada vez más acentuada por la sequía. Las grandes fluctuaciones en rendimiento observadas año a año, se deben en gran parte a la incapacidad de los agricultores de cosechar agua en tiempos de abundantes lluvias para su posterior utilización en épocas de sequía. Existen experiencias importantes de cosecha de agua utilizadas con éxito en zonas semiáridas y que son transferibles a los Andes (**Figura 12**). La cosecha del agua consiste en desviar el agua de escorrentía de áreas no agrícolas a pequeños estanques de captura. La ONG CIED ha ideado un novedoso sistema de cosechas de aguas en pozos de cemento en Cajamarca, Perú que entrega suficiente agua mediante sistemas simples de riego por aspersión a parcelas de 0.1-0.3 ha durante los meses secos. También existe un gran potencial para mejorar la capacidad de retención de humedad de los suelos mediante un manejo orgánico de éstos al incrementarse la capacidad de retención de humedad del suelo. En las zonas donde es posible y relevante, los andenes también demuestran propiedades hidráulicas importantes al reducir la escorrentía superficial y al permitir que el agua se percole por el suelo cargándolo con humedad (Treacey, 1989).

#### 8. Manejo de plagas y enfermedades

El manejo agroecológico de plagas consiste en la utilización de técnicas de manejo que apuntan a restaurar el equilibrio biológico con base en la diversidad intra e interespecífica de plantas y con la estimulación de enemigos naturales (depredadores, parásitos y antagonistas). El uso de cultivos y variedades resistentes y/o tolerantes, especialmente el rescate de germoplasma nativo cobra vital importancia para proveer las bases genéticas de la protección de los cultivos (Altieri, 1992).

La evidencia experimental y la literatura agroecológica, confirman cada vez



**Figura 12.** Sistemas de cosecha de agua utilizados en el África subsahara

más la importancia de la conservación de la biodiversidad y de los mecanismos mediante los cuales ésta estabiliza las poblaciones de insectos en agroecosistemas. Existen numerosos datos de experimentos que documentan que la diversificación de sistemas de cultivos, a menudo, lleva a la reducción de poblaciones de herbívoros. Los estudios sugieren que mientras más diverso sea el ecosistema, se desarrolla una mayor cantidad de interacciones entre componentes bióticos para promover una mayor estabilidad en las poblaciones de insectos. Es claro, sin embargo, que la estabilidad de las poblaciones de insectos, no sólo dependen de la diversidad trófica, también de la capacidad de respuesta funcional (densi-

dad dependiente) de los niveles tróficos. En otras palabras, la estabilidad dependerá de la precisión de la respuesta del nivel trófico terciario a un aumento de la población de herbívoros (Altieri, 1992).

Experimentos realizados en San Ramón y la Molina, Perú mostraron que los niveles de infestación de afidos (*Myzus persicae*) eran significativamente menores en papas cuando éstas se intercalaban con tomate y maíz, que en monocultivos de papas. Lo mismo se observó en el caso de la polilla *Phthorimaea operculella*; su incidencia era mayor en monocultivos de papa que en policultivos papa-tomate, papa-soya y papa-frijoles (Ewell *et al.*, 1994).

Como los sistemas agrícolas andinos son manejados con varios niveles de diversidad de cultivos e insumos, es lógico que ocurran variaciones en la dinámica de los insectos, las cuales pueden ser difíciles de predecir. Sin embargo, basados en las teorías ecológicas y agronómicas actuales (Altieri, 1995), se puede esperar un bajo potencial de plagas en los agroecosistemas que exhiban las siguientes características:

- a) Alta diversidad a través de mezclas de plantas en el tiempo y en el espacio, en forma de policultivos y rotaciones.
- b) Alta diversidad genética como resultado de mezclas varietales o de varias líneas del mismo cultivo.
- c) Discontinuidad del monocultivo en el tiempo mediante rotaciones, uso de variedades de maduración temprana, uso de períodos sin cultivos (barbechos naturales o mejorados) o períodos preferenciales sin hospederos, etc.
- d) Campos pequeños o esparcidos en un mosaico de cultivos y tierra no cultivada que proporcione refugio potencial y alimentación alternativa para los enemigos naturales. Aunque las plagas también pueden proliferar en estos ambientes, niveles bajos de poblaciones de plagas y/o huéspedes alternativos, pueden ser necesarios para mantener los enemigos naturales en el área.
- e) Granjas con un componente dominante de cultivos perennes o arbóreos. Los huertos frutales son considerados ecosistemas semipermanentes y más estables que los sistemas de cultivos anuales. Los huertos frutales sufren menos alteraciones y se caracterizan por una mayor diversidad estructural, especialmente aquellos con un cultivo de cobertura.
- f) Altas densidades de cultivos o presencia de niveles tolerables de ciertas malezas.



EVALUANDO EL ESTADO ECOLÓGICO Y LA SUSTENTABILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS ANDINOS

La sustentabilidad se refiere generalmente a la capacidad del agroecosistema de mantener un rendimiento constante a lo largo del tiempo sin experimentar degradación ambiental y dentro de una amplia gama de condiciones. La mayoría de las definiciones de sustentabilidad incluyen por lo menos tres criterios:

1. Manutención de la capacidad productiva del agroecosistema.
2. Preservación de la diversidad de la flora y la fauna.
3. Capacidad del agroecosistema para automantenerse y autoregularse

En un intento por desarrollar una guía preliminar para evaluar la condición agroecológica de los sistemas andinos, es posible identificar tres parámetros de evaluación de agroecosistemas que constituyan expresiones cuantificadas del cambio ambiental. Estos parámetros son:

*Sustentabilidad:* capacidad para mantener el nivel de productividad de los cultivos a través del tiempo, sin arriesgar la integridad de los componentes estructurales y funcionales de los agroecosistemas.

*Degradación de recursos naturales:* alteración de la calidad del agua, suelo y biodiversidad causadas por las prácticas agrícolas, los insumos químicos o la simplificación de los agroecosistemas.

*Calidad del paisaje agrícola:* las diversas formas en que los modelos agrícolas de uso de la tierra modifican el entorno e influyen los procesos ecológicos a través de la erosión de suelos, el monocultivo, etc.

Los indicadores que se consideran normalmente para el monitoreo agroecológico y su asociación con los parámetros de evaluación arriba mencionados se muestran en la **Tabla 7**.

Dadas las condiciones especiales de los ecosistemas andinos, dados los suelos marginales, la pendiente y el potencial erosivo, es posible que enfocando la atención sobre indicadores de la sustentabilidad y calidad del suelo se logre una visión general de la sustentabilidad ecológica de los agroecosistemas (Lal, 1994). El primer paso es identificar los procesos degradativos actuales o potenciales del suelo y las propiedades de éste, que serán afectadas por procesos como los de erosión, compactación, degradación química y biológica, salinización, etc. (**Tabla 8**). El segundo paso consiste en reevaluar estos indicadores afectados por los procesos modificadores del suelo, de acuerdo al tipo de uso del suelo y a los

**Tabla 7. Asociación entre parámetros de evaluación y los de versatilidad indicados**

Indicador	Sustentabilidad	Degradación de los recursos naturales	Calidad del paisaje agrícola
Productividad del cultivo	x	x	
Productividad del suelo	x	x	
Capacidad de retención de nutrientes	x		
Erosión del suelo	x		
Prevalencia de plagas y salud del cultivo	x		
Cantidad y calidad del agua para riego	x	x	
Uso de agroquímicos y nivel de contaminación	x	x	x
Diversidad genética y estado de la biodiversidad	x	x	x

sistemas de cultivo usados. Es claro que el tipo y tasa de degradación están determinados por el uso y manejo del suelo. Esto es importante para identificar las prácticas de conservación (terrazas, cultivos de cobertura, *mulching*, adición de materia orgánica, etc.) que sirvan para mejorar y proteger la estructura del suelo, su biología, su capacidad de retención de humedad, etc., así como los diferentes mecanismos involucrados en el reciclaje de los nutrientes (**Tabla 9**).

Utilizando el enfoque de Dalsgaard *et al.* (1995) es posible identificar cuatro atributos de los agroecosistemas andinos (diversidad, capacidad, reciclaje y productividad), que cuantificados simultáneamente pueden dar una idea del nivel de integración y sustentabilidad del agroecosistema.

*Diversidad*: se refiere al número de especies vegetales y animales con uso funcional y al nivel de diversidad genética dado por el número de variedades nativas y especies silvestres emparentadas presentes dentro y alrededor del sistema y que aseguran la estabilidad biológica a través de sinergias.

*Reciclaje*: se refiere al número de conexiones funcionales y a los flujos de biorecursos entre los varios componentes del agroecosistema (cultivos, animales, suelo, etc.) y que determinan el uso eficiente y conservación de materia orgánica y nutrientes.

**Tabla 8. Indicadores de la sustentabilidad influenciada por procesos de degradación del suelo.**

Procesos	Indicadores del suelo afectados
Erosión acelerada	Carbón orgánico, profundidad del suelo, agua disponible, capacidad nutricional.
Compactación	Densidad del suelo, porosidad, tasa de infiltración.
Degradación química	Reducción en CIC, agotamiento de nutrientes, eliminación biológica.
Acidez	pH bajo, decremento en situación de bases, concentración de aluminio.
Salinización	Incremento en conductibilidad eléctrica, cambio de color del suelo, incremento de sales solubles totales.
Alcalinización	Decremento en infiltración, cambio de color del suelo.
Degradación biológica	Reducción en contenido de materia orgánica y biomasa de carbono, reducción de biodiversidad (poblaciones de lombrices, etc.)

**Tabla 9. Principios básicos y opciones tecnológicas para mejorar el uso sustentable del suelo**

Estrategia	Opciones tecnológicas
Mejorar estructura del suelo	Cultivos de cobertura <i>mulching</i> , labranza de conservación, terrazas, agroforestería.
Elevar contenido de materia orgánica	Aplicación de estiércol, desechos orgánicos, abonos verdes y labranza de conservación.
Reducir compactación	Tracción animal, labranza mínima, uso de eco-arados.
Mejorar reciclaje de nutrientes	Aplicación de materia orgánica, agroforestería, cultivos múltiples, integración animal.
Manejar la acidez del suelo	Uso de variedades tolerantes, aplicación de cal, adición de materia orgánica y enmiendas.
Manejo de salinidad	Riegos especiales para mejorar lixiviación de sales, aplicación de enmiendas, uso de cultivos apropiados.
Mejorar fertilidad	Activación biológica del suelo, reciclar desechos orgánicos, integración animal, abonos verdes.

*Capacidad:* se refiere a la calidad del suelo, agua, y a la base de recursos y su capacidad de producir y sustentar biomasa. Midiendo cantidad de materia orgánica en el suelo, profundidad del suelo, o niveles de salinización/acidificación, es posible obtener una mediada estimativa de la capacidad de un agroecosistema.

*Productividad:* se refiere a los niveles de producción de biomasa total útil del agroecosistema expresada en toneladas por hectárea de biomasa de cultivos, forrajes, productos animales, estiércol, desechos vegetales, etc. que expresan el nivel y cambio de productividad de un agroecosistema.

Los valores obtenidos con métodos semicuantitativos de los atributos se pueden expresar en un diagrama (**Figura 13**) que brinda una idea del estado de integración y productividad del sistema, permitiendo así realizar una jerarquización de los varios sistemas evaluados. Mientras más amplio y balanceado es el volan-tín o cometa (kite) del diagrama, más sustentable se considera el agroecosistema evaluado. En la Figura 13 es claro que el agroecosistema A es más sustentable que el agroecosistema B, y que este último aunque presenta buena capacidad y productividad necesita elevar su diversidad y nivel de integración y reciclaje, lo que se puede lograr introduciendo especies en forma de policultivos, agroforestería y sistemas mixtos cultivo-animales.

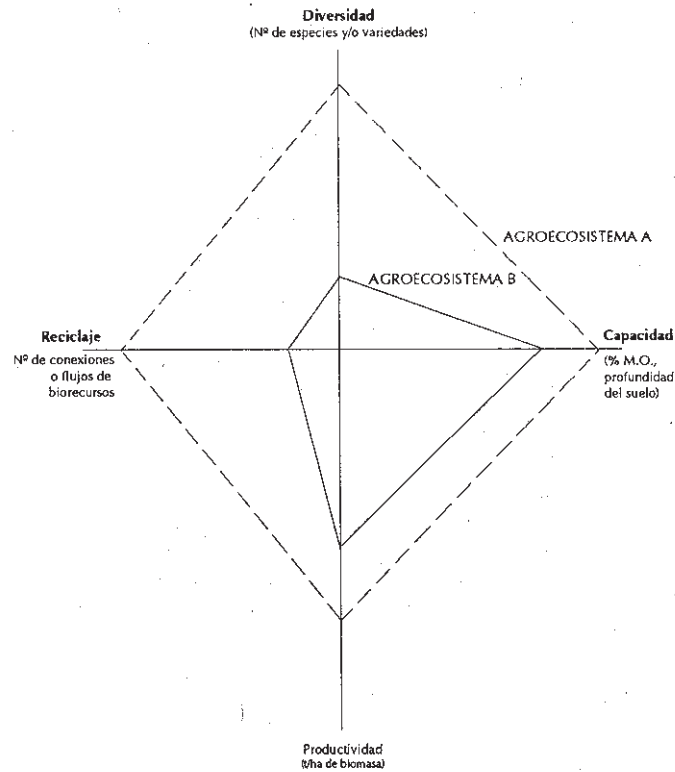
## CONCLUSIONES

Las montañas alto andinas y sus valles representan una diversidad impresionante en términos de heterogeneidad ambiental, clima, biodiversidad, sistemas agrarios y conocimiento agrícola tradicional. Dados los niveles actuales de degradación ambiental por deforestación, sobrepastoreo, erosión, más los problemas asociados a presiones poblacionales, cambios sociales, penetración de capital y mercados, estos ecosistemas se han transformado en agroambientes difíciles para los agricultores andinos contemporáneos (Fonseca y Mayer, 1988).

A pesar de la herencia neolítica de sistemas agrarios sustentables (andenes, camellones, cochas, etc.) y de sistemas y prácticas conservacionistas, décadas de mal manejo del suelo, en adición a otros factores sociales, económicos y políticos han reducido severamente la capacidad de carga de los ecosistemas andinos promoviendo migraciones y un ciclo vicioso de pobreza y degradación ambiental (Brush, 1987; NAS, 1989).

En vista de esta crisis que se hace cada día más profunda, un objetivo importante del desarrollo rural es el de impedir el colapso de la agricultura campesina

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 13.** Diagrama tipo «cometa» (kite) que expresa el nivel de sustentabilidad de un agroecosistema andino hipotético, al cuantificar y relacionar los niveles de diversidad, productividad y reciclaje del sistema (a partir de Dalgaard y otros, 1995).

en la región, transformándola en una actividad más sustentable y productiva. Tal transformación sólo puede ocurrir si somos capaces de comprender las contribuciones potenciales de la agroecología e incorporarlas a las estrategias de desarrollo rural, de modo que:

1. Mejoren la calidad de vida de los campesinos que trabajan pequeñas parcelas de tierra y/o tierras marginales, mediante el desarrollo de estrategias de subsistencia ecológicamente sensibles.

2. Eleven la productividad de la tierra de los campesinos que compiten en el mercado, mediante la promoción de tecnologías de bajo insumo y que disminuyan los costos de producción.
3. Promuevan la generación de empleos e ingresos, mediante el diseño de tecnologías apropiadas para el procesamiento de alimentos de manera que aumente el valor agregado de lo que se produce en las unidades campesinas.

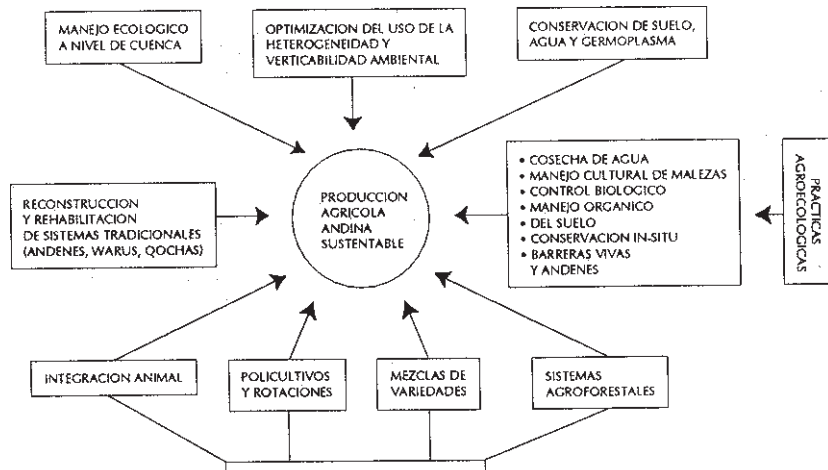
Es evidente que al mejorar el acceso de los campesinos a la tierra, agua *et al.* recursos naturales, como también a crédito equitativo, mercados justos, tecnologías apropiadas, etc., es crucial para garantizar un desarrollo duradero. Cómo desarrollar y promover tecnologías adaptadas a la agricultura campesina es el reto ineludible de la agroecología.

Cuando se examinan los problemas que confrontan el desarrollo y la adopción agroecosistemas sustentables, resulta imposible separar los problemas biológicos y socioeconómicos de la práctica agrícola. Muchas veces las complicaciones sociales y las limitantes políticas, más que los problemas técnicos, se transforman en barreras para cualquier transición desde sistemas degradantes a sistemas agrícolas que consumen poca energía y que conservan el medio ambiente.

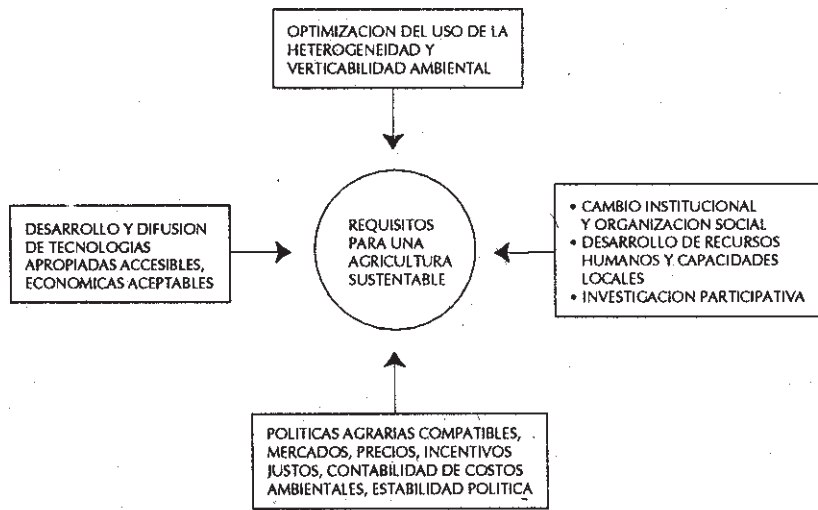
Aunque las tecnologías ancestrales andinas son primordiales, una estrategia para lograr una productividad agrícola sostenida tendrá que hacer mucho más que simplemente modificar las técnicas tradicionales. Una estrategia exitosa será el resultado de enfoques novedosos de diseño de agroecosistemas que integran el manejo con base en recursos regionales y que operen dentro del marco de condiciones ambientales y socioeconómicas imperantes. Las selecciones tendrán que basarse en la interacción de factores como: mezclas de cultivos, rotaciones, diversidad genética, nutrientes y humedad del suelo, temperatura, plagas, cosecha *et al.* procedimientos agronómicos; además, tendrán que acomodarse a la necesidad de conservar suelo, agua, germoplasma, energía *et al.* recursos, y proteger la calidad del medio ambiente, la salud pública, la diversidad cultural y promover el desarrollo económico equitativo (**Figura 14**).

Estos sistemas deberán contribuir al desarrollo rural y a la igualdad social. Para que esto suceda, los mecanismos políticos deberán incentivar la sustitución de capital por mano de obra, reducir los niveles de dependencia en altos insumos, modificar el diseño predial mediante la diversificación de la producción agrícola haciendo hincapié en la participación de los agricultores en el proceso de desarrollo. Reformas sociales en esta dirección proveerán los beneficios adicionales de aumentar el empleo y reducir la dependencia de los agricultores en el gobier-

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*



**Figura 14.** Componentes de una estrategia agroecológica para asegurar una producción agrícola sustentable



**Figura 15.** Requerimientos para una agricultura sustentable en los Andes

*Desarrollo de sistemas de producción sustentables*

no, el crédito y la industria. Es evidente que los requisitos para una agricultura andina sustentable engloban aspectos técnicos, ambientales, institucionales y de políticas agrarias e implicarán modificaciones substanciales en la educación, investigación y en la manera de gestionar el desarrollo rural. (**Figura 15**).



## Capítulo 3

### **DEFINIENDO UNA ESTRATEGIA DE MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES (MRN) PARA AGRICULTORES POBRES**

LOS RETOS DEL MANEJO DE RECURSOS NATURALES EN EL CONTEXTO DE LA AGRICULTURA CAMPESINA

Existe un consenso general respecto al hecho de que la Revolución Verde fue una estrategia importante para elevar la producción de los cultivos de granos. También se sabe que en las tierras de mayor potencial se observa una declinación en el rendimiento en sistemas intensivos de cultivo de arroz y trigo en la India y en el monocultivo de arroz en Filipinas, proceso ligado al efecto acumulativo de la degradación ambiental, causada en parte por el uso de tecnologías de alto insumo. Las nuevas propuestas para elevar la productividad en áreas de alto potencial tendrán que desviarse de la Revolución Verde en varios sentidos, dando énfasis a tecnologías que buscan la conservación de los recursos (p. ej. la incorporación de leguminosas en rotaciones), a manera de mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Las innovaciones biotecnológicas bien diseñadas podrían proveer algunas variedades en la medida que se adapten a las restricciones que enfrentan los agricultores pobres (resistencia a sequías, acidificación del suelo, etc.). Dichas tecnologías, de ser apropiadas, podrían ser integradas a una estrategia de manejo de recursos naturales (MRN), que enfatiza prioritariamente el manejo medioambiental más que la manipulación genética.

Un reto aún mayor para los investigadores, es el reconocimiento de que los agricultores de bajos recursos se beneficiaron muy poco del proceso de desarrollo y de transferencia tecnológica de la Revolución Verde. Muchos analistas de la Revolución Verde han señalado que las nuevas tecnologías no han sido neutrales en cuanto a escala. Los agricultores de mayor y mejor dotación de tierras fueron los más beneficiados, mientras que los de menores recursos a menudo perdieron, y las desigualdades en los ingresos se acentuaron. No solamente se promovieron tecnologías inapropiadas para los agricultores pobres, sino que los campesinos

fueron excluidos del acceso al crédito, a la información, al soporte técnico y a otros servicios que pudieron haberlos ayudado para un buen uso y adaptación de las nuevas innovaciones. Aún cuando estudios posteriores demostraron que el despliegue de variedades de alto rendimiento se dio entre los pequeños agricultores que tenían acceso a irrigación y al subsidio de agroquímicos en áreas de la Revolución Verde, las desigualdades se mantuvieron. En muchas zonas agrícolas, la Revolución Verde propició la intensificación de las diferencias sociales y de la concentración de la riqueza. El reto histórico de la ciencia agrícola moderna es, por lo tanto, reconcentrar sus esfuerzos en los campesinos y en ecosistemas marginales y asumir su responsabilidad por la prosperidad de la agricultura campesina. El sector privado y las instituciones de investigación avanzadas no tienen mayor interés en favorecer a tales grupos.

A fin de beneficiar directamente a los pobres, debe ponerse en práctica una propuesta de manejo de recursos naturales que abarque las más diversas y heterogéneas condiciones de vida de los pequeños propietarios y que sea ambientalmente sustentable y basada en el uso de los recursos locales y nativos. Se debe dar énfasis al mejoramiento integral de los sistemas agrícolas a nivel de cuenca más que a cultivos específicos. La generación de tecnología debe adecuarse a la demanda, lo cual implica que las prioridades de investigación deben estar basadas en las necesidades socioeconómicas y ambientales y la situación de los agricultores de pocos recursos.

La urgente necesidad de atacar la pobreza rural y de conservar y regenerar los deteriorados recursos de la pequeña propiedad, obliga a una búsqueda activa de nuevos tipos de investigación y de estrategias para el manejo de los recursos agrícolas. Por mucho tiempo las ONG han sostenido que una estrategia de desarrollo agrícola sustentable ambientalmente debe estar basada en principios agroecológicos y en propuestas más participativas en el desarrollo tecnológico y en la extensión. Poner atención especial a la relación existente entre la agricultura y el manejo de los recursos naturales, será clave para la solución de los problemas de pobreza, inseguridad alimentaria y degradación ambiental.

Los estudios y el desarrollo agrario deberían operar sobre la base de propuestas de “abajo para arriba”, a fin de beneficiar a los pobres del agro, aprovechando los recursos disponibles de la población local, tales como sus conocimientos y sus recursos naturales autóctonos. Además, se deben tomar en cuenta seriamente las necesidades, aspiraciones y circunstancias de los pequeños propietarios, a través de propuestas participativas.

***Objetivos de una estrategia de MRN para los agricultores pobres***

Alivio de la pobreza.  
Seguridad alimentaria y auto-apoyo.  
Manejo ecológico de los recursos productivos.  
Fortalecimiento de las comunidades rurales.  
Promoción de políticas favorables

***Aspectos de las innovaciones importantes para los agricultores pobres***

Ahorro de dinero y reducción de costos.  
Reducción de riesgos.  
Capacidad de adaptación a tierras frágiles.  
Congruencia con los sistemas agrícolas campesinos.  
Mejoramiento de la nutrición, la salud, el medioambiente y la productividad total de las fincas.

***Características de las tecnologías pro-campesinos pobres***

Basadas en el conocimiento tradicional.  
Económicamente viables y accesibles localmente.  
Ambientalmente sanas y culturalmente sensitivas.  
Adversas al riesgo y adaptables a condiciones locales.  
Mejoramiento de la productividad total de la finca.

*Definiendo la población objetivo-clave de una estrategia MRN pro-agricultores pobres*

A pesar de que las estadísticas respecto al número y ubicación de los agricultores de bajos recursos varían considerablemente, se estima que cerca de 1.9 a 2.2 mil millones de personas aún no son directa o indirectamente alcanzadas por las tecnologías agrícolas modernas. Las proyecciones en América Latina indican que la población rural se mantendrá estable en alrededor de 125 millones hasta el año 2000, pero más del 61% de esta población es pobre y probablemente crezca. Las proyecciones para Africa son todavía más dramáticas. La mayoría de los pobres del campo (cerca de 370 millones) viven en áreas de escasos recursos, altamente heterogéneas y propensas a riesgos. Sus sistemas de producción son de pequeña escala, complejos y diversos. Los más pobres generalmente se encuentran ubicados en zonas áridas o semiáridas y pendientes

*Agricultura moderna y agricultura verdaderamente sustentable*

ecológicamente vulnerables. Estas áreas están muy alejadas de los servicios urbanos y de las carreteras. Por lo general su productividad por cultivo es muy baja, aunque la productividad total a nivel de finca puede ser más significativa. Estos agricultores pobres y sus sistemas complejos enfrentan retos especiales de investigación y demandan tecnologías apropiadas.

***Características propias de los agricultores pobres***

Escaso acceso a tierras o propiedades muy pequeñas.

Muy poco o ningún capital.

Pocas oportunidades de trabajo fuera del campo.

Estrategias de generación de ingresos diversas y complejas.

Sistemas de manejo complejos y diversos en ambientes frágiles.

***Limitantes a que se ven expuestos los pequeños agricultores pobres***

Ambientes heterogéneos y erráticos.

Acceso limitado a mercados.

Ausencia de institucionalidad.

Ausencia de servicios públicos.

Poco acceso a la tierra y otros recursos.

Tecnologías inadecuadas.

*La agroecología como base científica fundamental de una estrategia de MRN*

Durante años, muchas ONG en el mundo en desarrollo han venido promoviendo propuestas de desarrollo rural con base en el manejo agroecológico de los recursos naturales. La agroecología proporciona un esquema para entender la naturaleza de los sistemas agrícolas y los principios que explican su funcionamiento. Es la ciencia que provee los principios ecológicos para el diseño y la conducción de sistemas agrícolas sustentables y de conservación de recursos, ofreciendo diversas opciones para un desarrollo de tecnologías “amigables” para el agricultor. En primer término, la agroecología descansa sobre los conocimientos tradicionales de manejo de recursos y en tecnologías modernas seleccionadas que facilitan el manejo de la diversidad, la incorporación de principios y recursos biológicos en los sistemas de cultivo y la intensificación de la producción agrícola. En segundo lugar, ofrece la única forma práctica de

restaurar tierras agrícolas degradadas por la práctica de la agronomía convencional. En tercer término, provee a los pequeños propietarios con formas ambientalmente sanas para intensificar la producción en áreas marginales. Finalmente, tiene la capacidad de revertir aquellos sesgos anticampesinos que enfatizan la compra de insumos externos en oposición a lo que los pequeños agricultores ya poseen como ventajas, como por ejemplo sus bajos costos de mano de obra. Los conceptos ecológicos son usados para favorecer los procesos naturales y las interacciones biológicas que optimizan la sinergia de modo tal que la agrobiodiversidad sea capaz de subsidiar por sí misma la fertilidad de suelos, la protección de los cultivos y la productividad. Muchos procesos ecológicos se pueden optimizar a partir de la combinación de cultivos, animales, árboles, el suelo y otros factores mediante esquemas de diversificación espacial y temporal. Estos procesos son cruciales para condicionar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

La agroecología aprovecha los procesos naturales y las interacciones en beneficio de los cultivos con miras a reducir el uso de insumos externos y de mejorar la eficiencia de los sistemas de cultivo. Las tecnologías utilizadas tienden a incrementar la biodiversidad funcional de los agroecosistemas así como la conservación de los recursos existentes. Las tecnologías promovidas son multifuncionales en tanto su adopción implica, por lo general, cambios favorables simultáneos en varios componentes del agroecosistema.

***Procesos para optimizar en el agroecosistema***

Acumulación de materia orgánica y reciclaje de nutrientes.

Actividad biológica del suelo.

Mecanismos de control natural (eliminación de enfermedades, control biológico de insectos, interferencia de malezas).

Conservación y regeneración de los recursos (suelo, agua, germoplasma, etc.).

Incremento general de la agrobiodiversidad.

***Tecnologías de propósito múltiple***

Cultivos de cobertura y abonos verdes.

Policultivos.

Rotación de cultivos.

Abono orgánico del suelo.

Agroforestería (incluyendo la forestería social).

Sistemas integrados de cultivos y ganadería (incluyendo la acuicultura).

Por ejemplo, los cultivos de cobertura funcionan como un *tornamesa ecológico (ecological turntable)* al actuar simultáneamente sobre procesos y componentes claves del sistema agroecológico: la entomofauna benéfica, la biología del suelo, la eliminación de plagas y enfermedades, el ciclo de nutrientes, etc. De manera similar, la incorporación de abonos verdes no sólo provee nutrientes, sino que además incrementa la materia orgánica del suelo y por tanto la capacidad de retención de agua, más allá de reducir la susceptibilidad a la erosión.

Existen probadas y prometedoras tecnologías agroecológicas que pueden integrarse para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de cultivo. A lo largo del mundo en desarrollo, grupos de agricultores en colaboración con ONG están implementando cientos de iniciativas a nivel local basadas en principios agroecológicos. Muchas de estas experiencias demuestran capacidad para estabilizar la producción a través de la regeneración y conservación del suelo y agua, la preservación de la agrobiodiversidad y el mejoramiento de la seguridad alimentaria, todo ello basado en tecnologías agroecológicas y en el aprovechamiento de los recursos locales.

***Beneficios probados de las tecnologías agroecológicas***

- Mejoría en el rendimiento total por unidad de área del terreno.
- Conservación del suelo, el agua y los recursos genéticos.
- Regulación de plagas a niveles aceptables.
- Uso reducido de agroquímicos.
- Mejoramiento de la calidad del suelo.
- Conservación y fomento de la agrobiodiversidad.

***Principios ecológicos claves para el MRN en agricultura***

1. La unidad ecológica mayor del espacio paisajístico es el ecosistema. Contiene componentes tanto bióticos como abióticos que a través de sus interacciones median los ciclos de nutrientes y el flujo de energía.
2. Para permitir estos ciclos y flujos, en el ecosistema se dan una cantidad de relaciones entre sus componentes (suelo, agua, nutrientes, productores, consumidores y descomponedores).
3. La función del ecosistema está relacionada con el flujo de energía y los ciclos de la materia a través de los componentes estructurales del ecosistema.

4. Los ecosistemas tienden a la madurez. Así, pasan de un estado menos complejo a otro más complejo. A este cambio direccional se le conoce con el nombre de sucesión.
5. Al ser explotado un ecosistema manejado inadecuadamente, su madurez y biodiversidad declinan y sus recursos se ven degradados.
6. Para lograr la sustentabilidad, agricultores e investigadores deberían esforzarse para aplicar conceptos ecológicos al diseño y manejo de sistemas agrícolas.
7. El flujo de energía podría optimizarse de modo que dependa menos de recursos no renovables y se obtenga un mejor balance entre la energía utilizada para mantener los procesos internos del sistema y la que se requiere para la exportación de productos cosechados.
8. Los mecanismos de regulación de poblaciones deben depender más de los niveles ecosistémicos de resistencia a las plagas, haciendo uso de una batería de mecanismos que van desde la promoción de la resistencia genética horizontal y el incremento de la diversidad del hábitat, hasta asegurar la presencia diversa y abundante de enemigos naturales y antagonistas.
9. En la medida que el uso de insumos externos para el control de los procesos del agroecosistema se reduce, los sistemas que dependen de mecanismos artificiales evolucionan a sistemas diseñados para optimizar el uso de los procesos naturales del ecosistema y de los recursos locales.
10. Un sistema agroecológico que incorpora las cualidades de resiliencia, estabilidad, productividad y balance de un ecosistema natural, podrá asegurar un equilibrio dinámico necesario que permita establecer las bases ecológicas de la sustentabilidad agrícola.

#### IMPORTANCIA DE LA ESPECIFICIDAD DE SITIO EN EL MRN

La gran variabilidad que presentan los procesos ecológicos y su interrelación con los factores sociales, culturales, políticos y económicos, genera sistemas locales excepcionalmente únicos. Cuando se toma en cuenta la heterogeneidad en la que viven los campesinos pobres, la improcedencia de las recetas o esquemas tecnológicos prefigurados se torna obvia. La única manera de tomar en cuenta las características locales específicas, desde las regiones a las cuencas y al mismo campo agrícola, es a través de la definición del ámbito específico del MRN. Esto no significa que tecnologías adaptadas a condiciones agroecológicas específicas no pueden ser aplicadas a escalas ecológicas mayores.

### *Agricultura moderna y agricultura verdaderamente sustentable*

Esta especificación del espacio de acción del MRN requiere de un cuerpo de conocimientos excepcionalmente amplio que no puede ser generado por una sola institución de investigación y administrada por su cuenta. Esta es una de las razones de por qué la inclusión de las comunidades locales en todas las etapas de los proyectos de desarrollo (en el diseño, puesta en marcha, desarrollo tecnológico, evaluación, difusión, etc.) es un elemento clave para el desarrollo rural exitoso. La capacidad inventiva de las poblaciones rurales es un recurso que debe ser urgente y eficazmente movilizado.

#### ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MRN

Para que los principios que guían al MRN se conviertan en opciones de aplicación práctica y apropiadas para los agricultores pobres, deben definirse mecanismos metodológicos de modo tal que las tecnologías se pongan al alcance de los campesinos y los objetivos del desarrollo rural sustentable se hagan realidad.

Esos mecanismos metodológicos incluyen:

- a) Alianzas efectivas que incluyan a las organizaciones de agricultores.
- b) Una investigación participativa, con métodos que propicien el auto-desarrollo.
- c) Fortalecimiento de las comunidades para su participación en la definición de agendas de investigación.
- d) Escalamiento de iniciativas locales exitosas de desarrollo agrícola sustentable.
- e) Desarrollo de indicadores para evaluar la sustentabilidad de estrategias de MRN

#### *Investigación participativa y enfoques de desarrollo*

Un tema metodológico clave que concierne al MRN es el de definir cuál es la mejor manera de integrar a los diversos actores sociales involucrados en el proceso de generación y difusión de las innovaciones. Se ha hablado mucho sobre el rol potencial del saber del agricultor y de su experiencia, como un eslabón crítico en los procesos de investigación, pero existen muy pocos ejemplos prácticos.

La mayoría de los programas de desarrollo que contemplaron en su agenda el interés de los agricultores de pequeña escala, quedaron cortos en sus



expectativas por cuanto han fallado en concretar seriamente la participación popular. La cuestión aquí, no es que los investigadores promuevan propuestas de participación de modo que los agricultores pongan en práctica fórmulas nuevas o preconcebidas de “paquetes tecnológicos”. Los pocos ejemplos existentes de generación y difusión de tecnologías apropiadas a los agricultores, sugieren que la participación de los agricultores es esencial para el desarrollo y difusión o reproducción de los métodos y tecnologías de la agricultura sustentable. En tales casos, la interacción horizontal y equitativa de los diversos actores reemplaza a las relaciones verticales y las iniciativas que se plantean responden a las necesidades e ideas de los agricultores. En efecto, el conocimiento tradicional es amalgamado con los conocimientos científicos actuales.

La existencia de redes de agricultores y sus métodos de comunicación han demostrado el papel invaluable de tales mecanismos en la expansión de ideas e innovaciones. Estas formas de participación han fortalecido y le han dado más presencia al agricultor local y a las organizaciones comunitarias y más aún han permitido el descubrimiento y la amplia adopción de alternativas.

#### *Concertación y diálogo intercultural*

La naturaleza específica de toda estrategia sustentable de MRN coloca a los agricultores, a los ganaderos, a los pescadores y otros personajes del campo en una posición central. Ellos son los mejores conocedores de las condiciones locales y de sus necesidades. Al trabajar con las organizaciones de agricultores, con las ONG y otras organizaciones de la sociedad civil, los centros de investigación pueden ofrecer algunos instrumentos que sean útiles a estos grupos para determinar la mejor forma de manejo de sus recursos naturales. Así, los centros de investigación debieran desarrollar estrategias de MRN específicas en concertación con las ONG y con las comunidades donde se encuentran realizando su trabajo.

Estas coaliciones requieren del respeto mutuo, de un lenguaje común, de una nueva valoración del conocimiento indígena y de nuevas metodologías. Esta es un área en la cual los antropólogos y científicos sociales tienen mucho que contribuir. Ellos pueden ayudar a los científicos biofísicos a desarrollar metodologías verdaderamente participativas y a mejorar su apreciación y entendimiento de los conocimientos tradicionales y condiciones de la localidad. El saber local es en efecto considerado tan valioso que bien pudiera convertirse por sí solo en un importante tópico de investigación.

Es importante resaltar que este tipo de concertaciones requiere de un completo

### *Agricultura moderna y agricultura verdaderamente sustentable*

reentrenamiento de los científicos. Por ejemplo, el lenguaje comúnmente utilizado por los investigadores científicos es por lo general poco comprensible para campesinos agricultores. De modo inverso, conceptos y términos tradicionales y agroecológicos no son comprendidos por los científicos. Aquí también, los antropólogos culturales podrían ayudar a definir un lenguaje común entre investigadores y miembros de la comunidad.

#### *Promoviendo el escalamiento de iniciativas locales exitosas*

Muchas iniciativas que promueven el MRN con base agroecológica se han cristalizado a nivel local, impactando positivamente a algunas comunidades rurales en términos de seguridad alimentaria, preservación ambiental y generación de ingresos. A fin de extrapolar los beneficios de estas iniciativas de agricultura sustentable hacia niveles de alcance regional, se torna fundamental un escalamiento de estos proyectos locales exitosos. Esto, de algún modo, obliga a una mayor investigación y es un reto metodológico, pues no existen recetas sobre cómo proceder con el escalamiento. Es sabido que para expandir estos esfuerzos es necesario realizar cambios importantes en el campo de la concertación interinstitucional, en las políticas agrarias, en los programas de investigación y en los procesos educativos.

Una propuesta factible pudiera ser la de proveer a aquellos casos que alcanzaron cierto nivel de éxito, con insumos adicionales, metodológicos o técnicos, a través de nuevas formas de concertación y buenas relaciones entre las instituciones. Esto complementaría los esfuerzos realizados por las ONG y las comunidades locales involucradas en el campo de MRN, que llevan a cabo actividades en red y están ligadas a un trabajo orientado a influir en la direccionalidad de las investigaciones y las políticas, para beneficiar a los agricultores de bajos recursos.

#### VINCULACIÓN DEL MRN CON EL DESARROLLO RURAL

Aunque las estrategias apropiadas de MRN son clave para el mejoramiento de los sistemas de vida de las comunidades agrícolas pobres, también son cruciales la organización social efectiva, el fortalecimiento de las comunidades, el acceso a la tierra y la reformulación de políticas. Estos procesos son vitales para que una estrategia de MRN tenga un impacto significativo sobre los agricultores pobres del mundo en desarrollo.

*Desarrollo de la capacidad de autogestión y autonomía de las comunidades rurales*

En vista de que las comunidades rurales son afectadas por una multitud de factores y que los proyectos de MRN tienen una vida finita, es muy importante que los procesos desarrollados por las nuevas estrategias de MRN acrecienten la habilidad de las comunidades rurales para la innovación, para responder a nuevos retos y para influir en las políticas que las afectan. Esta es otra de las razones para incorporar a miembros de las comunidades rurales en los procesos de investigación.

Los beneficios obtenidos de proyectos de investigación y desarrollo de MRN incluyen no sólo el producto final –nuevas estrategias y tecnologías para el manejo sustentable de los recursos naturales–, sino también los procesos utilizados para llegar a éste. Por medio del uso de metodologías de desarrollo de la capacidad de autogestión, los miembros de las comunidades rurales, inclusive de grupos de mujeres e indígenas, aprenden no sólo sobre los instrumentos técnicos para el manejo sustentable de los recursos naturales, sino que además aprenden a lograr el reconocimiento y el poder político necesario para asegurar resultados duraderos. Este proceso hace uso de una metodología en la que participa la población rural para definir los temas relevantes de investigación. En este proceso, agricultores, ganaderos, pescadores, etc., determinan los objetivos y el diseño de los temas de investigación e incluso se ven involucrados en la evaluación de proyectos. Esto puede realizarse usando fórmulas tales como entrenamientos “de campesino a campesino”, investigaciones lideradas por agricultores y difusión de tecnologías multifuncionales, en lugar de transferir una sola tecnología desde el laboratorio hacia el campo. La habilidad de las comunidades para innovar y responder a los nuevos retos sería así engrandecida y aseguraría una continuidad más allá del tiempo límite característico de los proyectos.

*Políticas*

Muchas de las causas de la pobreza y la degradación ambiental tienen sus raíces en políticas que afectan los precios de los productos agrícolas y el acceso a buenas tierras. Si, por ejemplo, la causa de la pobreza de una comunidad es la historia y políticas que la han forzado a cultivar tierras marginales ¿tendría sentido desarrollar formas de mejoramiento de estas tierras inherentemente pobres y frágiles?, ¿o sería mejor promover una reforma agraria para eliminar algunas de las causas de la pobreza? Aún cuando el mandato de los investigadores no

### *Agricultura moderna y agricultura verdaderamente sustentable*

contempla la formulación de políticas, es importante que por lo menos dentro de los límites de su capacidad, lleven la voz de los agricultores pobres a foros internacionales de relevancia e intenten influir en el proceso de formulación de políticas. Por ejemplo, sería importante incluir en los procesos de investigación participativa, a los agentes responsables de la toma de decisiones nacionales e internacionales. Esto aseguraría que quienes toman las decisiones cuando menos se encuentren informados de la situación existente en las comunidades rurales.

Algunos aspectos de política que inciden en el precio de los productos del agro y en el acceso a la tierra, afectan directamente los objetivos de alivio de la pobreza y de manejo sustentable de los recursos naturales. Por esta razón es importante que se realicen esfuerzos para la obtención de mejores precios para los productos del campo, para la redistribución de la tierra y para terminar con la liberalización de ciertos mercados, por lo menos para el caso de los alimentos principales que son claves para la seguridad alimentaria.

#### *Autosuficiencia*

Antes de esperar a que los pobres de las zonas rurales ubicados en las áreas marginales sean parte de y compitan con poderosas y fluctuantes fuerzas globales, es importante que ellos logren un nivel mínimo de autosuficiencia. Esto los salvaría de hundirse a niveles que amenacen su seguridad alimentaria. Por tanto, los tipos de tecnología a desarrollar debieran tomar en cuenta como prerequisite, el enfatizar en el autosostenimiento y la independencia de los insumos externos. La investigación puede ayudar a desarrollar este tipo de tecnologías utilizando los sistemas de producción existentes pero reforzando las características innovadoras de los sistemas locales.

Igualmente, a nivel de la economía, la producción agrícola local debería lograr algo de independencia de los precios del mercado global. Esto podría lograrse dando más fuerza a los circuitos locales de producción y consumo y conectando a los agricultores con mercados de exportación, intermediados por organizaciones involucradas en esquemas de comercio justo.

### CONCLUSIONES

Dados los puntos anteriormente expuestos, se pueden perfilar varias conclusiones relacionadas a la definición de una agenda de MRN pro-agricultores pobres:

1. El mejoramiento del manejo de los recursos naturales no solamente está relacionado con el alivio de la pobreza, sino que también es parte esencial del incremento de la sustentabilidad de la producción en áreas tradicionales y ecológicamente vulnerables. Para que esto suceda, la estrategia de MRN propuesta, de algún modo tiene que favorecer deliberadamente a los pobres y no solamente ayudar a acrecentar la producción y conservar los recursos naturales, sino también contribuir a generar empleo y mejorar el acceso a los recursos internos y a los mercados externos.
2. Los investigadores y promotores del desarrollo en las áreas rurales necesitarán traducir los principios ecológicos generales y los conceptos sobre manejo de los recursos naturales en recomendaciones prácticas que respondan directamente a las necesidades de los pobres e incidan en la situación de los pequeños propietarios.
3. El nuevo enfoque tecnológico para los pobres debe incorporar perspectivas agroecológicas. Será esencial desarrollar tecnologías conservadoras de recursos, que aprovechen eficazmente la fuerza de trabajo y que incluyan esquemas de diversificación de cultivos que estén basados en los procesos naturales del ecosistema. Las alternativas tecnológicas serán específicas para cada sitio e intensivas en información, más que en capital. Muchos de los ejemplos de métodos tradicionales y de aquellos promovidos por las ONG sobre manejo de recursos naturales permiten explorar la potencialidad de combinar los conocimientos y habilidades de los agricultores locales con aquellos provenientes de la ciencia moderna, de manera que puedan desarrollarse y adaptarse técnicas agrícolas apropiadas.
4. Cualquier intento serio para desarrollar tecnologías agrícolas sustentables debe considerar el peso que tienen el conocimiento y la pericia locales dentro de los procesos de investigación. Se debe poner énfasis particular en el involucramiento de los agricultores en la formulación de planes de investigación y en su participación activa en el proceso de innovación tecnológica y de disseminación. La preocupación central debe estar en fortalecer la investigación local y la capacidad de la población para resolver sus problemas. La organización de la población local alrededor de proyectos de MRN que aprovechen los conocimientos y destrezas tradicionales provee una plataforma de lanzamiento para un mayor aprendizaje y organización y, por tanto, para el mejoramiento de los proyectos que tienen como objeto de desarrollar la capacidad de autogestión y autonomía, y el desarrollo autosostenido de la comunidad.

5. Una estrategia de MRN a favor de los pobres debiera delinear un programa para la formulación de políticas que faciliten una práctica participativa en el manejo de los recursos naturales, basado tanto en las innovaciones tradicionales como en intervenciones tecnológicas externas seleccionadas. Será crucial fortalecer las capacidades institucionales locales y el acceso de los agricultores a los servicios que faciliten el uso de tecnologías apropiadas. Se hace también necesario incrementar los ingresos a través de otro tipo de intervenciones, más allá de aumentar el rendimiento de cultivos, tales como actividades complementarias en el área de procesamiento y mercadeo de cultivos alimenticios. La definición y aplicación de dicho programa requiere la cooperación de los gobiernos, de las agencias internacionales y de las ONG, la participación de un sector privado comprometido y la de grupos organizados conformados por técnicos y científicos.

***Componentes de una estrategia adecuada de MRN***

Contribuir a una mayor preservación del medio ambiente.

Aumentar la producción y la seguridad alimentaria familiar.

Generar trabajo dentro y fuera de la finca.

Proveer de insumos locales y de oportunidades en el mercado.

***Qué se requiere?***

Promover tecnologías multifuncionales de conservación de recursos.

Propuestas de participación para que la comunidad se involucre y adquiera mayor poder.

Concertación inter-institucional.

Políticas eficaces y congruentes.

***Requisitos de una estrategia de MRN, a favor de los pobres***

Uso de tecnologías agroecológicas que optimicen los procesos biológicos.

Reducir el uso de insumos externos.

Reducir los *trade-offs* entre productividad, sostenibilidad y equidad.

Participación de los agricultores.

Cooperación inter-institucional.

Políticas de capacitación y entrenamiento.

## **CAPÍTULO 4**

### **LOS IMPACTOS ECOLOGICOS DE LA AGRICULTURA MODERNA Y LAS POSIBILIDADES DE UNA AGRICULTURA VERDADERAMENTE SUSTENTABLE**

#### **INTRODUCCIÓN**

Hasta hace unas cuatro décadas, los rendimientos de los cultivos en los sistemas agrícolas dependía de los recursos internos, del reciclado de la materia orgánica, de los mecanismos de control biológico y del régimen de las lluvias. Los rendimientos agrícolas eran modestos pero estables. La producción se aseguraba sembrando más de un cultivo o variedad, en el espacio y en el tiempo, como un seguro contra las explosiones de plagas o la severidad del clima. Los aportes de nitrógeno se lograban rotando los principales cultivos con leguminosas. Al mismo tiempo las rotaciones suprimían a los insectos plaga y enfermedades al quebrar efectivamente el ciclo de vida de éstas. Un agricultor típico del cinturón de maíz de Estados Unidos, rotaba el maíz con muchos cultivos incluyendo la soya, y la producción de granos era básico para el mantenimiento del ganado, componente clave de los sistemas integrados. La mayor parte del trabajo era realizado por la familia con el empleo ocasional de trabajadores y la utilización de equipos sencillos. En este tipo de sistema agrícola la relación entre la agricultura y la ecología era bastante fuerte y los signos de degradación ambiental eran raramente evidentes (Altieri, 1995).

Mientras que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se debilitó en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental. Un gran número de personas están preocupadas por la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas actuales de producción agrícola. Existe evidencia que

muestra, que aunque el sistema agrícola imperante con una aplicación intensiva de capital y tecnología, ha sido extremadamente productivo y competitivo, trae consigo también una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

La evidencia muestra también que la estructura del agro y las políticas prevalecientes, han llevado a esta crisis ambiental al favorecer a las grandes fincas, la especialización de la producción, el monocultivo y la mecanización. En la medida en que cada vez más agricultores se integran a la economía internacional, los imperativos para diversificar desaparecen y los monocultivos son premiados por las economías de escala. A su vez, la ausencia de rotaciones y diversificación elimina los mecanismos fundamentales de autorregulación, transformando a los monocultivos en agroecosistemas ecológicamente vulnerables y dependientes de altos niveles de insumos químicos.

#### LA EXPANSIÓN DE LOS MONOCULTIVOS

Hoy los monocultivos se han expandido dramáticamente a través del mundo, caracterizados por que año tras año se produce la misma especie de cultivo sobre el mismo suelo. En muchas regiones la diversidad de cultivos por unidad de suelo arable ha decrecido, y las tierras agrícolas han tendido a concentrarse. Hay fuerzas políticas y económicas que favorecen al monocultivo. De hecho, tales sistemas son recompensados por las economías de escala y contribuyen significativamente a que las agriculturas nacionales sirvan a los mercados internacionales.

Las principales tecnologías que han permitido la extensión del monocultivo son: la mecanización, el mejoramiento genético de variedades y el desarrollo de agroquímicos para la fertilización y el control de plagas, enfermedades y malezas. Las políticas comerciales y gubernamentales de las décadas pasadas promovieron la difusión y utilización de estas tecnologías. Como resultado, hoy hay menos fincas y éstas son más grandes, más especializadas y con requerimientos de capital más intensivos. A nivel regional, el incremento del monocultivo ha significado que toda la infraestructura agrícola de apoyo (p. ej. investigación, extensión, insumos, almacenamiento, transporte, mercados, etc.) se haya especializado aún más.

Desde una perspectiva ecológica, las consecuencias regionales de la especialización del monocultivo tienen muchas facetas:

- a) La mayoría de los sistemas agrícolas a gran escala no presentan una



estructura integrada y entre los componentes de la finca casi no hay ensamblaje; por lo tanto la complementariedad ecológica entre el suelo, los cultivos y los animales es inexistente.

- b) Los ciclos de nutrientes, energía, agua y desechos se han tornado más abiertos, en vez de mantenerse cerrados como en los ecosistemas naturales. A pesar de la cantidad substancial de residuos de cosecha y guano producido en una región se hace cada vez más difícil reciclar nutrientes, inclusive dentro de un mismo sistema agrícola. Los desperdicios de los animales no pueden ser devueltos al suelo en un proceso de reciclaje de nutrientes porque los sistemas de producción están geográficamente alejados unos de otros para hacer posible que el ciclo se complete. En muchas áreas, los desperdicios agrícolas se han convertido más en una carga que en un recurso. El reciclaje de nutrientes desde los centros urbanos hasta los campos es igualmente difícil.

Parte de la inestabilidad y susceptibilidad de los agroecosistemas a las plagas, está ligada a la adopción de extensos monocultivos, los cuales concentran recursos para los herbívoros especializados y aumentan las áreas disponibles para la inmigración de plagas. Esta simplificación ha reducido también las oportunidades ambientales para los enemigos naturales. Consecuentemente, las explosiones de plagas ocurren cuando se dan simultáneamente varias condiciones: gran número de plagas inmigrantes, poblaciones menores de insectos benéficos, clima favorable y cultivos en etapas vulnerables.

- c) Cuando los cultivos específicos se expanden más allá de su espacio “natural” o de las áreas favorables, hacia regiones de alto potencial de plagas o con baja fertilidad del suelo, se requiere de una intensificación del control químico para superar tales factores limitantes. Lo que se asume, es que la intervención humana y el nivel de insumos energéticos que permitieron esta expansión pueden ser sostenidos indefinidamente.
- d) Los agricultores comerciales han observado un constante desfile de nuevos cultivos en la medida que el reemplazo de variedades, debido a plagas y enfermedades, estrés biótico o a cambios en el mercado, se ha acelerado a niveles sin precedentes. Un cultivo con resistencia a insectos y enfermedades hace su aparición, se comporta bien por algunos años (típicamente de 5 a 9 años) y después la resistencia es sobrepasada, la productividad cae y por lo tanto debe ser reemplazada por un cultivo más prometedor. La trayectoria de las variedades se caracteriza por: una fase de despegue, cuando es adoptada inicialmente por los agricultores; una

etapa intermedia, cuando el área cultivada se estabiliza; y finalmente, una contracción del área de cultivo. De esta forma, la estabilidad de la agricultura moderna depende de la continua introducción de nuevas variedades, en vez de depender de una diversidad genética compuesta de muchas variedades sembradas en la misma finca.

- e) La necesidad de subsidiar energéticamente a los monocultivos requiere de incrementos en el uso de plaguicidas y fertilizantes, pero la eficiencia del uso de estos insumos aplicados es decreciente. Los rendimientos en la mayoría de los cultivos importantes se están estancando. En algunos lugares, los rendimientos están de hecho decreciendo. Hay diferentes opciones para explicar las causas subyacentes de este fenómeno. Algunos creen que los rendimientos se están estancando porque se ha alcanzado el máximo potencial de rendimiento de las actuales variedades y consecuentemente, postulan que la ingeniería genética debe ser aplicada con el objetivo de rediseñar el cultivo. Por otra parte, los agroecólogos creen que este estancamiento se debe a la continua erosión de la base productiva de la agricultura ocasionada por prácticas no sostenibles (Altieri y Rosset, 1995).

#### LA PRIMERA OLA DE PROBLEMAS AMBIENTALES

La especialización de las unidades de producción ha llevado a creer a algunos que la agricultura es un milagro moderno en la producción de alimentos. Sin embargo las evidencias indican que la excesiva dependencia de los monocultivos en insumos agroindustriales, ha impactado negativamente el medio ambiente y la sociedad rural. Hoy en día se detectan una serie de “enfermedades ecológicas” asociadas a la intensificación de la producción agrícola. Estas se pueden agrupar en dos categorías: Primero, enfermedades del ecotopo, las cuales incluyen erosión, pérdida de fertilidad del suelo, agotamiento de las reservas de nutrientes, salinización y alcalinización, polución de los sistemas de aguas, etc. Segundo, enfermedades de la biocoenosis, las cuales incluyen pérdida de agrobiodiversidad y recursos genéticos, eliminación de enemigos naturales, reaparición de plagas y resistencia genética a los plaguicidas y destrucción de los mecanismos de control natural. Bajo condiciones de manejo intensivo, el tratamiento de tales “enfermedades” requiere un incremento de los costos externos hasta tal punto que, en la mayoría de los sistemas agrícolas modernos, la cantidad de energía invertida para producir un rendimiento deseado sobrepasa la energía cosechada (Gliessman, 1977).

La pérdida en el rendimiento de muchos cultivos debido a las plagas (que alcanza entre un 20% al 30% en la mayoría de los cultivos), a pesar del incremento substancial en el uso de plaguicidas (cerca de 500 millones de kilogramos de ingrediente activo a nivel mundial), es un síntoma de la crisis ambiental que afecta a la agricultura. Es bien sabido que las plantas en monocultivos, genéticamente homogéneas, no poseen los mecanismos ecológicos necesarios de defensa para tolerar el impacto de grandes poblaciones de plagas. Los agrónomos modernos han seleccionado cultivos de alto rendimiento y alta palatabilidad, tornándolos más susceptibles a las plagas al sacrificar resistencia natural por productividad. Por otra parte, las prácticas agrícolas modernas afectan negativamente a los enemigos naturales de las plagas, los que a su vez no encuentran las condiciones necesarias para reproducirse y así poder suprimir biológicamente a las plagas en los monocultivos. Debido a esta ausencia de controles naturales, los agricultores estadounidenses invierten anualmente cerca de 40 billones de dólares en plaguicidas, lo cual se estima que ahorra en pérdidas por plagas, aproximadamente 16 billones de dólares. Sin embargo, el costo indirecto del uso de plaguicidas por los daños al medio ambiente y a la salud pública deben ser balanceados contra estos beneficios. Los costos ambientales (impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, calidad de agua y suelo) y el costo social (envenenamiento de trabajadores, etc.), asociados al uso de plaguicidas, alcanza cerca de 8 billones de dólares cada año (Pimentel y Lehman, 1993). Lo preocupante es que el uso de plaguicidas está aumentando. En California entre 1991 a 1995, el uso de plaguicidas se incremento de 161 a 212 millones de libras de ingrediente activo. Estos incrementos no se deben a un aumento del área plantada, ya que el área dedicada a cultivos permaneció constante durante ese período. La intensificación de cultivos tales como fresas y uvas son responsables por la mayor parte de este aumento, el cual incluye plaguicidas tóxicos, muchos de los cuales se pueden vincular con problemas de cáncer (Liebman, 1997).

Por otra parte, los fertilizantes han sido alabados por ser ambientalmente inocuos y por asociarse con el incremento de la producción en muchos países. Los promedios nacionales en la aplicación de nitratos en la mayoría de suelos arables, fluctúa entre 120 y los 550 kilogramos de Nitrogeno (N) por hectárea. Pero esta aparente bonanza creada por el uso de fertilizantes, frecuentemente oculta los costos ambientales. Una de las principales razones de porqué los fertilizantes químicos contaminan el ambiente, es debido a su aplicación excesiva y al hecho de que los usan en forma ineficiente en los cultivos. Cuando los fertilizantes no son utilizados por el cultivo, éstos terminan en el medio ambiente, principalmente en las aguas superficiales o subterráneas. La contaminación de

aguas con nitrato está muy extendida, y alcanza niveles peligrosos en muchas regiones del mundo. En los Estados Unidos, se estima que más del 25% de los pozos de agua potable contienen nitratos muy por encima del nivel aceptable de 45 partes por millón. Tales niveles de nitratos son peligrosos para la salud humana ya que diversos estudios han relacionado la ingestión de nitratos con la metahemoglobinemia en niños y con cáncer gástrico en adultos (Conway y Pretty, 1991).

Los nutrientes de fertilizantes que caen a ríos, lagos, bahías, etc. pueden promover la eutroficación, inicialmente caracterizada por una explosión en las poblaciones de algas. Las explosiones de algas, a su vez, cubren los cuerpos de aguas con un color verde brillante, impidiendo la penetración de la luz más allá de la superficie y consecuentemente, provocando la muerte de los organismos que viven en el fondo. La vegetación muerta sirve de alimento para otros microorganismos acuáticos que rápidamente consumen el oxígeno del agua, inhibiendo la descomposición de los residuos orgánicos que se acumulan en el fondo. Eventualmente, el enriquecimiento excesivo de nutrientes en los ecosistemas de agua fresca llevan a la destrucción de toda la vida animal en los sistemas acuáticos. En los Estados Unidos se estima que entre el 50% y el 70% de todos los nutrientes que llegan a aguas superficiales son derivados del uso de fertilizantes.

Los fertilizantes químicos también pueden contaminar el aire, y han sido relacionados recientemente con la destrucción de la capa de ozono y con el calentamiento terrestre. Su uso excesivo también ha sido ligado a la acidificación y salinización de los suelos, así como a la alta incidencia de plagas y enfermedades ya que influyen negativamente en el balance de nutrientes de los tejidos de los cultivos (McGuinness, 1993).

Es claro, que la primera ola de problemas ambientales está profundamente arraigada en el sistema socioeconómico que prevalece, el cual promueve el monocultivo y el uso de tecnologías de alto insumo, así como prácticas que llevan a la degradación de los recursos naturales. Tal degradación no es solamente un proceso ecológico, también es un proceso social, político y económico (Buttel y Gertler, 1982). Es por este motivo que el problema de la producción agrícola no puede considerarse como un problema meramente tecnológico. Aunque el tema de la productividad representa parte del problema, las dimensiones sociales, culturales y económicas de la crisis son de crucial importancia. Esto es particularmente cierto hoy en día, cuando la dominación económica y política de la agenda de desarrollo rural por parte de la agroindustria ocurre a expensas

de los intereses de los consumidores, los trabajadores del campo, los pequeños agricultores, la vida silvestre, el medio ambiente y las comunidades rurales (Audirac, 1977).

#### LA SEGUNDA OLA DE PROBLEMAS AMBIENTALES

A pesar de que la conciencia respecto al impacto de las tecnologías modernas sobre el medio ambiente ha crecido, existen aquellos que al enfrentarse a los retos ambientales del siglo XXI argumentan en favor de la intensificación tecnológica de la producción agrícola. Es en este contexto, que los simpatizantes de la agricultura convencional celebran el surgimiento de la biotecnología como la última “bala mágica” que revolucionará la agricultura con productos basados “en los métodos de la naturaleza”, transformando a la agricultura de modo que sea más amigable con el medio ambiente y más rentable para los agricultores. Aunque es claro que ciertas aplicaciones de la biotecnología son prometedoras para un mejoramiento de la agricultura, dada la orientación y el control que en la actualidad ejercen las compañías multinacionales, ésta promete agravar más el daño ambiental e incrementar la industrialización de la agricultura (Krimsky y Wrubel, 1996).

Lo que es irónico, es el hecho de que la biorevolución está siendo gestionada por los mismos intereses que inicialmente promovieron la agricultura basada en agroquímicos, pero esta vez, al equipar los cultivos con nuevos genes insecticidas, ellos prometen al mundo plaguicidas más sanos, una agricultura químicamente menos intensiva y por ende más sustentable. Sin embargo, mientras los cultivos transgénicos sigan de cerca el paradigma de los plaguicidas, tales productos biotecnológicos no harán más que reforzar el círculo vicioso de los plaguicidas en los agroecosistemas, legitimando de esta manera las preocupaciones que muchos científicos han expresado acerca de los posibles riesgos ambientales de los organismos genéticamente modificados.

Entre los riesgos ambientales asociados con la liberación de cultivos transgénicos (Rissler y Mellon, 1996) se pueden resumir los siguientes :

1. La tendencia que siguen las corporaciones es la creación de amplios mercados internacionales para una sola variedad, estableciendo así las condiciones para la uniformidad genética en el paisaje rural. La historia ha demostrado repetidamente que grandes extensiones plantadas con un sólo cultivo son altamente vulnerables a nuevos patógenos y plagas. Por lo tanto la diseminación de los cultivos transgénicos amenaza la diversidad

genética al simplificar los sistemas de cultivos y promover la erosión genética.

2. Existe el potencial de una transferencia no intencional de transgenes hacia plantas de la misma familia con efectos ecológicos impredecibles. La transferencia de genes de cultivos resistentes a los herbicidas hacia sus familiares silvestres o semidomesticados puede llevar a la creación de supermalezas.
3. Lo más probable es que los insectos plaga rápidamente desarrollen resistencia hacia cultivos con la toxina Bt (*Bacillus thuringiensis*). En pruebas de laboratorio y de campo se ha reportado que muchas especies de Lepidóptera han desarrollado resistencia a la toxina Bt. Este fenómeno se extenderá de manera rápida en el caso de cultivos Bt, los cuales a través de la continua expresión de la toxina generan una fuerte presión selectiva.
4. El uso masivo de la toxina Bt en los cultivos puede desencadenar interacciones potencialmente negativas que afecten a varios organismos en la cadena trófica. Estudios conducidos en Escocia y Suecia sugieren que los áfidos y otros herbívoros secuestran la toxina Bt y la transfieren a sus depredadores (Coccinellidae y Chrysopidae), afectando así la reproducción y la longevidad de estos insectos benéficos.
5. La toxina Bt también puede ser incorporada al suelo junto con los residuos de la cosecha y permanecer de 2 a 3 meses, resistiendo la degradación al adherirse a las arcillas del suelo, manteniendo así su actividad y afectando negativamente a los invertebrados del suelo y potencialmente también al reciclaje de nutrientes.
6. Otro riesgo potencial de las plantas transgénicas resistentes a los virus, es la posibilidad de crear un nuevo genotipo por la recombinación entre ADN genómico de virus infectantes y el ADN transferido de los transgenes.
7. Otro efecto ambiental asociado con cultivos transgénicos resistentes a los virus se relaciona con la posible transferencia de los transgenes a sus familiares silvestres a través del polen.

Aunque existen muchas preguntas sin responder acerca del impacto de la liberación de plantas transgénicas y de microorganismos en el medio ambiente, se espera con la biotecnología se agraven los problemas de la agricultura

convencional y que al promover los monocultivos también se inhiban las prácticas agrícolas alternativas, tales como las rotaciones y los policultivos. Dado que los cultivos transgénicos desarrollados enfatizan en el uso de un sólo mecanismo de control (un gen una plaga), táctica que ha fallado una y otra vez con los insectos, los patógenos y las malezas; los cultivos transgénicos muy posiblemente incrementarán el uso de plaguicidas y acelerarán la evolución de supermalezas e insectos resistentes. Esta posibilidad es preocupante, especialmente cuando se considera que durante el período de 1986-1997 se realizaron aproximadamente 25 mil experimentos para probar cultivos transgénicos a nivel mundial, involucrando más de 60 cultivos con 10 rasgos o características en 45 países. En 1997 el área global dedicada a los cultivos transgénicos alcanzó 12.8 millones de hectáreas. El 72% de todas las pruebas de campo de cultivos transgénicos fueron realizadas en los Estados Unidos y Canadá, el resto se realizaron, en orden descendente, en Europa, América Latina y Asia. En los países industrializados de 1986 a 1992, el 57% de todas las pruebas de campo involucraron cultivos transgénicos con tolerancia a herbicidas, bajo el liderazgo de 27 corporaciones, incluyendo las 8 más grandes compañías de plaguicidas del mundo: Bayer, Ciba-Geigy, ICI, Rhone-Poulenc, Dow/Elanco, Monsanto, Hoescht y DuPont, y virtualmente todas las compañías de semillas, muchas de las cuales han sido adquiridas por las compañías químicas. En la medida en que se amplía el uso de Roundup y otros herbicidas de amplio espectro, las opciones para que se adopte una agricultura diversificada serán mucho más limitadas.

#### ALTERNATIVAS A LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

La reducción y especialmente la eliminación de los agroquímicos requiere de cambios mayores en el manejo de los agroecosistemas para asegurar la provisión adecuada de nutrientes y el control de plagas. Hace algunas décadas, las fuentes alternativas de nutrientes para mantener la fertilidad del suelo incluían guano animal, desechos orgánicos y leguminosas en secuencia de cultivos. Los beneficios de las rotaciones se deben a la fijación biológica de nitrógeno y a la interrupción de los ciclos de los insectos, malezas y enfermedades. También se pueden integrar empresas ganaderas con cultivos de granos para aprovechar el estiércol y para utilizar mejor los forrajes producidos. Los máximos beneficios de esta integración se logran cuando el ganado, los cultivos y otros recursos de la finca se organizan en diseños mixtos y rotativos con el fin de optimizar la eficiencia de la producción, asegurar el ciclo de los nutrientes y proteger de los cultivos.



### *Agricultura moderna y agricultura verdaderamente sustentable*

En plantaciones y viñedos, el uso de cultivos de cobertura mejora la fertilidad, estructura y permeabilidad del suelo, previene la erosión, modifica el microclima y reduce la competencia de malezas. Estudios entomológicos, realizados en plantaciones con cultivos de cobertura, indican que estos sistemas exhiben menor incidencia de plagas que las plantaciones sin cobertura. Esto se debe a la mayor abundancia y eficiencia de los depredadores y parasitoides presentes en las flores de la cobertura (Altieri, 1992).

Los investigadores están demostrando cada vez más que es posible obtener un balance entre el medio ambiente, los rendimientos sostenibles, la fertilidad del suelo mediada biológicamente y el control natural de plagas, a través del diseño de agroecosistemas diversificados y el uso de tecnologías de bajo insumo. Muchos sistemas de cultivos alternativos han sido probados: rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura y cultivos mixtos; pero lo más importante es que existen ejemplos de agricultores que demuestran que tales sistemas llevan a la optimización del reciclaje de nutrientes y a la restitución de la materia orgánica, promueven flujos cerrados de energía, conservación de agua y suelos, y un balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales. Esta agricultura diversificada explota las complementariedades que resultan de las combinaciones de cultivos, árboles y animales en diversos arreglos espaciales y temporales (Altieri, 1995).

En esencia, el óptimo comportamiento de los agroecosistemas depende del nivel de interacción entre los varios componentes bióticos y abióticos. Al ensamblar una biodiversidad funcional es posible iniciar la sinergia que subsidia los procesos del agroecosistema, al proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, la promoción de artrópodos benéficos y antagonistas, etc. Hoy existe una gama variada de prácticas y tecnologías disponibles que poseen diferentes grados de efectividad.

### **BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS**

La estrategia agroecológica busca la revitalización y la diversificación de las pequeñas y medianas propiedades y el rediseño de las políticas agrarias del sistema alimentario, de manera que éste sea económicamente viable para los agricultores y los consumidores. De hecho, en el mundo existen cientos de movimientos que están trabajando desde diferentes perspectivas por un cambio hacia una agricultura ecológicamente sensible. Algunos enfatizan en la producción de productos orgánicos para los mercados lucrativos, otros en el manejo racional de recursos, mientras que otros lo hacen en la capacidad de



gestión y autonomía de las comunidades campesinas. En general, los objetivos son usualmente los mismos: asegurar la autosuficiencia alimenticia; la conservación y regeneración de los recursos naturales; y mejorar la equidad social y la viabilidad económica.

Lo que sucede es que algunos grupos, aunque bien intencionados, sufren de un “determinismo tecnológico” y enfatizan, como estrategia clave, únicamente el desarrollo y disseminación de tecnologías apropiadas o de bajos insumos como si estas tecnologías por sí mismas pudieran desencadenar procesos benéficos de cambio social. La agricultura orgánica que enfatiza en la substitución de insumos (p. ej. substitución de químicos tóxicos por insecticidas biológicos) pero que a su vez deja intacta la estructura del monocultivo, epitomiza a aquellos grupos que tienen una visión relativamente benigna de la agricultura capitalista. Desafortunadamente tal perspectiva, ha evitado que muchos grupos comprendan las raíces estructurales de la degradación ambiental ligadas al monocultivo (Rosset y Altieri, 1997).

Esta estrecha aceptación de la estructura actual de la agricultura, es una condición dada que restringe la posibilidad real de implementar alternativas que pueden cambiar tal estructura. Es así como, las opciones para fomentar una agricultura diversificada son inhibidas, entre otros factores, por las actuales tendencias en el tamaño de fincas y por la mecanización. La implementación de una agricultura diversificada, sólo será posible como parte de un amplio programa que incluya, entre otras estrategias, la reforma agraria y el rediseño de maquinaria agrícola adaptable a los policultivos. Únicamente con la introducción de diseños agrícolas alternativos muy poco se hará por cambiar las fuerzas que promueven el monocultivo, la expansión del tamaño de las fincas y la mecanización.

En Estados Unidos, los programas gubernamentales implementados durante las últimas décadas han creado muchas barreras para cambiar los sistemas de cultivos. En esencia, estos programas han premiado el monocultivo al asegurar a los agricultores un precio determinado para sus productos. Aquellos que no plantan la extensión designada, de maíz o de otros cultivos, pierden los subsidios. Estas medidas generaron una desventaja competitiva para aquellos que usan rotaciones de cultivos, exacerbando sus dificultades económicas (Mc Isaac y Edwards, 1994). Obviamente en un escenario como éste serán necesarios cambios políticos profundos para que los sistemas agrícolas alternativos se desarrollen en un marco económico favorable.

Por otra parte, la gran influencia de las corporaciones multinacionales en la promoción de la venta de agroquímicos y ahora de variedades transgénicas, no

puede ser ignorada como una barrera para la agricultura sostenible. La mayoría de las corporaciones multinacionales, han aprovechado las políticas actuales que promueven una amplia participación del sector privado en el desarrollo y la difusión de tecnología, colocándose ellas mismas en una posición de poder para expandir, promover y mercadear los plaguicidas. Siendo realista, el futuro de la agricultura será determinado por relaciones de poder y no existe razón alguna para que los agricultores y el público en general, si ganan el poder político suficiente, no puedan influir en dar a la agricultura una orientación acorde con los objetivos de la sostenibilidad.

#### CONCLUSIONES

Las estructuras de la agricultura moderna y de las políticas actuales han influido claramente en el contexto de la producción y de la tecnología agrícola, lo que a su vez ha llevado a generar problemas ambientales de primer y segundo orden. De hecho, dadas las características del modelo económico dominante, las políticas existentes desalientan las prácticas conservadoras de recursos y en muchos casos por cuestiones de economía de escala, estas prácticas no son rentables para los agricultores. Por ello, la expectativa de que una serie de cambios políticos puedan ser implementados como resultado del renacimiento de una agricultura diversificada y a pequeña escala son irreales, dado que esto niega la existencia del concepto de economía de escala en la agricultura e ignora el poder político de las corporaciones agroindustriales y de las tendencias actuales establecidas por la globalización. Es necesaria una transformación más radical de la agricultura, pero ésta debe estar guiada por la noción de que el cambio ecológico en la agricultura no puede ser promovido sin un cambio, comparable, en las esferas sociales, políticas, culturales y económicas que también influyen en la agricultura. En otras palabras, un cambio hacia una agricultura socialmente justa, económicamente viable y ambientalmente segura debe ser el resultado de movimientos sociales en el sector rural aliados a organizaciones urbanas. Esto es especialmente relevante en el caso de la nueva biorevolución, donde es necesaria una acción concertada para que las compañías de biotecnología sientan la presión de las organizaciones ambientalistas, laborales, de derechos de los animales y de defensa de los consumidores, de manera que los logros de la biotecnología sean reorientados para el beneficio de toda la sociedad y de la naturaleza.

# Capítulo 4

## LOS IMPACTOS ECOLOGICOS DE LA AGRICULTURA MODERNA Y LAS POSIBILIDADES DE UNA AGRICULTURA VERDADERAMENTE SUSTENTABLE

### INTRODUCCIÓN

Hasta hace unas cuatro décadas, los rendimientos de los cultivos en los sistemas agrícolas dependía de los recursos internos, del reciclado de la materia orgánica, de los mecanismos de control biológico y del régimen de las lluvias. Los rendimientos agrícolas eran modestos pero estables. La producción se aseguraba sembrando más de un cultivo o variedad, en el espacio y en el tiempo, como un seguro contra las explosiones de plagas o la severidad del clima. Los aportes de nitrógeno se lograban rotando los principales cultivos con leguminosas. Al mismo tiempo las rotaciones suprimían a los insectos plaga y enfermedades al quebrar efectivamente el ciclo de vida de éstas. Un agricultor típico del cinturón de maíz de Estados Unidos, rotaba el maíz con muchos cultivos incluyendo la soya, y la producción de granos era básico para el mantenimiento del ganado, componente clave de los sistemas integrados. La mayor parte del trabajo era realizado por la familia con el empleo ocasional de trabajadores y la utilización de equipos sencillos. En este tipo de sistema agrícola la relación entre la agricultura y la ecología era bastante fuerte y los signos de degradación ambiental eran raramente evidentes (Altieri, 1995).

Mientras que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se debilitó en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental. Un gran número de personas están preocupadas por la sustentabilidad a largo plazo de los sistemas actuales de producción agrícola. Existe evidencia

que muestra, que aunque el sistema agrícola imperante con una aplicación intensiva de capital y tecnología ha sido extremadamente productivo y competitivo, trae consigo también una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

La evidencia muestra también que la estructura del agro y las políticas prevalecientes han llevado a esta crisis ambiental al favorecer a las grandes fincas, la especialización de la producción, el monocultivo y la mecanización. En la medida en que cada vez más agricultores se integran a la economía internacional, los imperativos para diversificar desaparecen y los monocultivos son premiados por las economías de escala. A su vez, la ausencia de rotaciones y diversificación elimina los mecanismos fundamentales de autorregulación, transformando a los monocultivos en agroecosistemas ecológicamente vulnerables y dependientes de altos niveles de insumos químicos.

#### LA EXPANSIÓN DE LOS MONOCULTIVOS

Hoy los monocultivos se han expandido dramáticamente a través del mundo, caracterizados por que año tras año se produce la misma especie de cultivo sobre el mismo suelo. En muchas regiones la diversidad de cultivos por unidad de suelo arable ha decrecido, y las tierras agrícolas han tendido a concentrarse. Hay fuerzas políticas y económicas que favorecen al monocultivo. De hecho, tales sistemas son recompensados por las economías de escala y contribuyen significativamente a que las agriculturas nacionales sirvan a los mercados internacionales.

Las principales tecnologías que han permitido la extensión del monocultivo son: la mecanización, el mejoramiento genético de variedades y el desarrollo de agroquímicos para la fertilización y el control de plagas, enfermedades y malezas. Las políticas comerciales y gubernamentales de las décadas pasadas promovieron la difusión y utilización de estas tecnologías. Como resultado, hoy hay menos fincas y éstas son más grandes, más especializadas y con requerimientos de capital más intensivos. A nivel regional, el incremento del monocultivo ha significado que toda la infraestructura agrícola de apoyo (investigación, extensión, insumos, almacenamiento, transporte, mercados, etc.) se haya especializado aún más.

Desde una perspectiva ecológica la especialización del monocultivo tiene una serie de consecuencias regionales:

- a) La mayoría de los sistemas agrícolas a gran escala no presentan una es-

estructura integrada y entre los componentes de la finca casi no hay ensamblaje; por lo tanto la complementariedad ecológica entre el suelo, los cultivos y los animales es inexistente.

- b) Los ciclos de nutrientes, energía, agua y desechos se han tornado más abiertos, en vez de mantenerse cerrados como en los ecosistemas naturales. A pesar de la cantidad substancial de residuos de cosecha y guano producido en una región se hace cada vez más difícil reciclar nutrientes, inclusive dentro de un mismo sistema agrícola. Los desperdicios de los animales no pueden ser devueltos al suelo en un proceso de reciclaje de nutrientes porque los sistemas de producción están geográficamente alejados unos de otros para hacer posible que el ciclo se complete. En muchas áreas, los desperdicios agrícolas se han convertido más en una carga que en un recurso. El reciclaje de nutrientes desde los centros urbanos hasta los campos es igualmente difícil.

Parte de la inestabilidad y susceptibilidad de los agroecosistemas a las plagas, está ligada a la adopción de extensos monocultivos, los cuales concentran recursos para los herbívoros especializados y aumentan las áreas disponibles para la inmigración de plagas. Esta simplificación ha reducido también las oportunidades ambientales para los enemigos naturales. Consecuentemente, las explosiones de plagas ocurren cuando se dan simultáneamente varias condiciones: gran número de plagas inmigrantes, poblaciones menores de insectos benéficos, clima favorable y cultivos en etapas vulnerables.

- c) Cuando los cultivos específicos se expanden más allá de su espacio “natural” o de las áreas favorables, hacia regiones de alto potencial de plagas o con baja fertilidad del suelo, se requiere de una intensificación del control químico para superar tales factores limitantes. Lo que se asume, es que la intervención humana y el nivel de insumos energéticos que permitieron esta expansión pueden ser sostenidos indefinidamente.
- d) Los agricultores comerciales han observado un constante desfile de nuevos cultivos en la medida que el reemplazo de variedades, debido a plagas y enfermedades, estrés biótico o a cambios en el mercado, se ha acelerado a niveles sin precedentes. Un cultivo con resistencia a insectos y enfermedades se comporta bien por algunos años (típicamente de 5 a 9 años) y después la resistencia es sobrepasada, la productividad cae y por lo tanto debe ser reemplazada por un cultivo más prometedor. La trayectoria de las variedades se caracteriza por: una fase de despegue, cuando

es adoptada inicialmente por los agricultores; una etapa intermedia, cuando el área cultivada se estabiliza; y finalmente, una contracción del área de cultivo. De esta forma, la estabilidad de la agricultura moderna depende de la continua introducción de nuevas variedades, en vez de depender de una diversidad genética compuesta de muchas variedades sembradas en la misma finca.

- e) La necesidad de subsidiar energéticamente a los monocultivos requiere de incrementos en el uso de plaguicidas y fertilizantes, pero la eficiencia del uso de estos insumos aplicados es decreciente. Los rendimientos en la mayoría de los cultivos importantes se están estancando. En algunos lugares, los rendimientos están de hecho decreciendo. Hay diferentes opciones para explicar las causas subyacentes de este fenómeno. Algunos creen que los rendimientos se están estancando porque se ha alcanzado el máximo potencial de rendimiento de las actuales variedades y consecuentemente, postulan que la ingeniería genética debe ser aplicada con el objetivo de rediseñar el cultivo. Por otra parte, los agroecólogos creen que este estancamiento se debe a la continua erosión de la base productiva de la agricultura ocasionada por prácticas que no son sostenibles (Altieri y Rosset, 1995).

#### LA PRIMERA OLA DE PROBLEMAS AMBIENTALES

La especialización de las unidades de producción ha llevado a creer a algunos que la agricultura es un milagro moderno en la producción de alimentos. Sin embargo las evidencias indican que la excesiva dependencia de los monocultivos en insumos agroindustriales, ha impactado negativamente el medio ambiente y la sociedad rural. Hoy en día se detectan una serie de “enfermedades ecológicas” asociadas a la intensificación de la producción agrícola. Estas se pueden agrupar en dos categorías: Primero, enfermedades del ecotopo, las cuales incluyen erosión, pérdida de fertilidad del suelo, agotamiento de las reservas de nutrientes, salinización y alcalinización, polución de los sistemas de aguas, etc. Segundo, enfermedades de la biocoenosis, las cuales incluyen pérdida de agrobiodiversidad y recursos genéticos, eliminación de enemigos naturales, reaparición de plagas y resistencia genética a los plaguicidas y destrucción de los mecanismos de control natural. Bajo condiciones de manejo intensivo, el tratamiento de tales “enfermedades” requiere un incremento de los costos externos hasta tal punto que, en la mayoría de los sistemas agrícolas modernos, la cantidad de energía invertida para producir un rendimiento deseado sobrepasa la energía cosechada (Gliessman, 1977).

La pérdida en el rendimiento de muchos cultivos debido a las plagas (que alcanza entre un 20% al 30% en la mayoría de los cultivos), a pesar del incremento substancial en el uso de plaguicidas (cerca de 500 millones de kilogramos de ingrediente activo a nivel mundial), es un síntoma de la crisis ambiental que afecta a la agricultura. Es bien sabido que las plantas en monocultivos, genéticamente homogéneas, no poseen los mecanismos ecológicos necesarios de defensa para tolerar el impacto de grandes poblaciones de plagas. Los agrónomos modernos han seleccionado cultivos de alto rendimiento y alta palatabilidad, tornándolos más susceptibles a las plagas al sacrificar resistencia natural por productividad. Por otra parte, las prácticas agrícolas modernas afectan negativamente a los enemigos naturales de las plagas, los que a su vez no encuentran las condiciones necesarias para reproducirse y así poder suprimir biológicamente a las plagas en los monocultivos. Debido a esta ausencia de controles naturales, los agricultores estadounidenses invierten anualmente cerca de 40 billones de dólares en plaguicidas, lo cual se estima que ahorra en pérdidas por plagas, aproximadamente 16 billones de dólares. Sin embargo, el costo indirecto del uso de plaguicidas por los daños al medio ambiente y a la salud pública deben ser balanceados contra estos beneficios. Los costos ambientales (impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, calidad de agua y suelo) y el costo social (envenenamiento de trabajadores, etc.), asociados al uso de plaguicidas, alcanza cerca de 8 billones de dólares cada año (Pimentel y Lehman, 1993). Lo preocupante es que el uso de plaguicidas está aumentando. En California entre 1991 y 1995, el uso de plaguicidas se incrementó de 161 a 212 millones de libras de ingrediente activo. Estos incrementos no se deben a un aumento del área plantada, ya que el área dedicada a cultivos permaneció constante durante ese período. La intensificación de cultivos tales como fresas y uvas son responsables por la mayor parte de este aumento, el cual incluye plaguicidas tóxicos, muchos de los cuales se pueden vincular con problemas de cáncer (Liebman, 1997).

Por otra parte, los fertilizantes han sido alabados por ser ambientalmente inocuos y por asociarse con el incremento de la producción en muchos países. Los promedios nacionales en la aplicación de nitratos en la mayoría de suelos arables, fluctúa entre 120 y los 550 kilogramos de Nitrógeno (N) por hectárea. Pero esta aparente bonanza creada por el uso de fertilizantes, frecuentemente oculta los costos ambientales. Una de las principales razones de porqué los fertilizantes químicos contaminan el ambiente, es debido a su aplicación excesiva y al hecho de que los usan en forma ineficiente en los cultivos. Cuando los fertilizantes no son utilizados por el cultivo, éstos terminan en el medio ambien-



te, principalmente en las aguas superficiales o subterráneas. La contaminación de aguas con nitrato está muy extendida, y alcanza niveles peligrosos en muchas regiones del mundo. En los Estados Unidos, se estima que más del 25% de los pozos de agua potable contienen nitratos muy por encima del nivel aceptable de 45 partes por millón. Tales niveles de nitratos son peligrosos para la salud humana ya que diversos estudios han relacionado la ingestión de nitratos con la metahemoglobinemia en niños y con cáncer gástrico en adultos (Conway y Pretty, 1991).

Los nutrientes de fertilizantes que caen a ríos, lagos, bahías, etc. pueden promover la eutroficación, inicialmente caracterizada por una explosión en las poblaciones de algas. Las explosiones de algas, a su vez, cubren los cuerpos de aguas con un color verde brillante, impidiendo la penetración de la luz más allá de la superficie y consecuentemente, provocando la muerte de los organismos que viven en el fondo. La vegetación muerta sirve de alimento para otros microorganismos acuáticos que rápidamente consumen el oxígeno del agua, inhibiendo la descomposición de los residuos orgánicos que se acumulan en el fondo. Eventualmente, el enriquecimiento excesivo de nutrientes en los ecosistemas de agua fresca llevan a la destrucción de toda la vida animal en los sistemas acuáticos. En los Estados Unidos se estima que entre el 50% y el 70% de todos los nutrientes que llegan a aguas superficiales son derivados del uso de fertilizantes.

Los fertilizantes químicos también pueden contaminar el aire, y han sido relacionados recientemente con la destrucción de la capa de ozono y con el calentamiento terrestre. Su uso excesivo también ha sido ligado a la acidificación y salinización de los suelos, así como a la alta incidencia de plagas y enfermedades ya que influyen negativamente en el balance de nutrientes de los tejidos de los cultivos (McGuinness, 1993).

Es claro, que la primera ola de problemas ambientales está profundamente arraigada en el sistema socioeconómico que prevalece, el cual promueve el monocultivo y el uso de tecnologías de alto insumo, así como prácticas que llevan a la degradación de los recursos naturales. Tal degradación no es solamente un proceso ecológico, también es un proceso social, político y económico (Buttel y Gertler, 1982). Es por este motivo que el problema de la producción agrícola no puede considerarse como un problema meramente tecnológico. Aunque el tema de la productividad representa parte del problema, las dimensiones sociales, culturales y económicas de la crisis son de crucial importancia. Esto es particularmente cierto hoy en día, cuando la dominación económica y política de la agenda de desarrollo rural por parte de la agroindustria ocurre a



expensas de los intereses de los consumidores, los trabajadores del campo, los pequeños agricultores, la vida silvestre, el medio ambiente y las comunidades rurales (Audirac, 1977).

#### LA SEGUNDA OLA DE PROBLEMAS AMBIENTALES

A pesar de que la conciencia respecto al impacto de las tecnologías modernas sobre el medio ambiente ha crecido, existen aquellos que al enfrentarse a los retos ambientales del siglo XXI argumentan en favor de la intensificación tecnológica de la producción agrícola. Es en este contexto, que los simpatizantes de la agricultura convencional celebran el surgimiento de la biotecnología como la última “bala mágica” que revolucionará la agricultura con productos basados “en los métodos de la naturaleza”, transformando a la agricultura de modo que sea más amigable con el medio ambiente y más rentable para los agricultores. Aunque es claro que ciertas aplicaciones de la biotecnología son prometedoras para un mejoramiento de la agricultura, dada la orientación y el control que en la actualidad ejercen las compañías multinacionales, ésta promete agravar más el daño ambiental e incrementar la industrialización de la agricultura (Krimsky y Wrubel, 1996).

Lo que es irónico, es el hecho de que la biorevolución está siendo gestionada por los mismos intereses que inicialmente promovieron la agricultura basada en agroquímicos, pero esta vez, al equipar los cultivos con nuevos genes insecticidas, ellos prometen al mundo plaguicidas más sanos, una agricultura químicamente menos intensiva y por ende más sustentable. Sin embargo, mientras los cultivos transgénicos sigan de cerca el paradigma de los plaguicidas, tales productos biotecnológicos no harán más que reforzar el círculo vicioso de los plaguicidas en los agroecosistemas, legitimando de esta manera las preocupaciones que muchos científicos han expresado acerca de los posibles riesgos ambientales de los organismos genéticamente modificados.

Entre los riesgos ambientales asociados con la liberación de cultivos transgénicos se pueden resumir los siguientes (Rissler y Mellon, 1996):

1. La tendencia que siguen las corporaciones es la creación de amplios mercados internacionales para una sola variedad, estableciendo así las condiciones para la uniformidad genética en el paisaje rural. La historia ha demostrado repetidamente que grandes extensiones plantadas con un sólo cultivo son altamente vulnerables a nuevos patógenos y plagas. Por lo tanto la diseminación de los cultivos transgénicos amenaza la diversidad

genética al simplificar los sistemas de cultivos y promover la erosión genética.

2. Existe el potencial de una transferencia no intencional de transgenes hacia plantas de la misma familia con efectos ecológicos impredecibles. La transferencia de genes de cultivos resistentes a los herbicidas hacia sus familiares silvestres o semidomesticados puede llevar a la creación de supermalezas.
3. Lo más probable es que los insectos plaga rápidamente desarrollen resistencia hacia cultivos con la toxina Bt (*Bacillus thuringiensis*). En pruebas de laboratorio y de campo se ha reportado que muchas especies de Lepidóptera han desarrollado resistencia a la toxina Bt. Este fenómeno se extenderá de manera rápida en el caso de cultivos Bt, los cuales a través de la continua expresión de la toxina generan una fuerte presión selectiva.
4. El uso masivo de la toxina Bt en los cultivos puede desencadenar interacciones potencialmente negativas que afecten a varios organismos en la cadena trófica. Estudios conducidos en Escocia y Suecia sugieren que los áfidos y otros herbívoros secuestran la toxina Bt y la transfieren a sus depredadores (Coccinellidae y Chrysopidae), afectando así la reproducción y la longevidad de estos insectos benéficos.
5. La toxina Bt también puede ser incorporada al suelo junto con los residuos de la cosecha y permanecer de 2 a 3 meses, resistiendo la degradación al adherirse a las arcillas del suelo, manteniendo así su actividad y afectando negativamente a los invertebrados del suelo y potencialmente también al reciclaje de nutrientes.
6. Otro riesgo potencial de las plantas transgénicas resistentes a los virus, es la posibilidad de crear un nuevo genotipo por la recombinación entre ADN genómico de virus infectantes y el ADN transferido de los transgenes.
7. Otro efecto ambiental asociado con cultivos transgénicos resistentes a los virus se relaciona con la posible transferencia de los transgenes a sus familiares silvestres a través del polen.

Aunque existen muchas preguntas sin responder acerca del impacto de la liberación de plantas transgénicas y de microorganismos en el medio ambiente, se espera que con la biotecnología se agraven los problemas de la agricultura convencional y que al promover los monocultivos también se inhiban las prác-

ticas agrícolas alternativas, tales como las rotaciones y los policultivos. Los cultivos transgénicos desarrollados enfatizan el uso de un sólo mecanismo de control (un gen una plaga), táctica que ha fallado una y otra vez con los insectos, los patógenos y las malezas; los cultivos transgénicos muy posiblemente incrementarán el uso de plaguicidas y acelerarán la evolución de supermalezas e insectos resistentes. Esta posibilidad es preocupante, especialmente cuando se considera que durante el período de 1986-1997 se realizaron aproximadamente 25 mil experimentos para probar cultivos transgénicos a nivel mundial, involucrando más de 60 cultivos con 10 rasgos o características en 45 países. En 1997 el área global dedicada a los cultivos transgénicos alcanzó 12.8 millones de hectáreas. El 72% de todas las pruebas de campo de cultivos transgénicos fueron realizadas en los Estados Unidos y Canadá, el resto se realizaron, en orden descendente, en Europa, América Latina y Asia. En los países industrializados de 1986 a 1992, el 57% de todas las pruebas de campo involucraron cultivos transgénicos con tolerancia a herbicidas, bajo el liderazgo de 27 corporaciones, incluyendo las 8 más grandes compañías de plaguicidas del mundo: Bayer, Ciba-Geigy, ICI, Rhone-Poulenc, Dow/Elanco, Monsanto, Hoescht y DuPont, y virtualmente todas las compañías de semillas, muchas de las cuales han sido adquiridas por las compañías químicas. En la medida en que se amplía el uso de Roundup y otros herbicidas de amplio espectro, las opciones para que se adopte una agricultura diversificada serán mucho más limitadas.

#### ALTERNATIVAS A LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

La reducción y especialmente la eliminación de los agroquímicos requiere de cambios mayores en el manejo de los agroecosistemas para asegurar la provisión adecuada de nutrientes y el control de plagas. Hace algunas décadas, las fuentes alternativas de nutrientes para mantener la fertilidad del suelo incluían guano animal, desechos orgánicos y leguminosas en secuencia de cultivos. Los beneficios de las rotaciones se deben a la fijación biológica de nitrógeno y a la interrupción de los ciclos de los insectos, malezas y enfermedades. También se pueden integrar empresas ganaderas con cultivos de granos para aprovechar el estiércol y para utilizar mejor los forrajes producidos. Los máximos beneficios de esta integración se logran cuando el ganado, los cultivos y otros recursos de la finca se organizan en diseños mixtos y rotativos con el fin de optimizar la eficiencia de la producción, asegurar el ciclo de los nutrientes y proteger de los cultivos.

En plantaciones y viñedos, el uso de cultivos de cobertura mejora la fertili-

dad, estructura y permeabilidad del suelo, previene la erosión, modifica el microclima y reduce la competencia de malezas. Estudios entomológicos, realizados en plantaciones con cultivos de cobertura, indican que estos sistemas exhiben menor incidencia de plagas que las plantaciones sin cobertura. Esto se debe a la mayor abundancia y eficiencia de los depredadores y parasitoides presentes en las flores de la cobertura (Altieri, 1992).

Los investigadores están demostrando cada vez más que es posible obtener un balance entre el medio ambiente, los rendimientos sostenibles, la fertilidad del suelo mediada biológicamente y el control natural de plagas, a través del diseño de agroecosistemas diversificados y el uso de tecnologías de bajo insumo. Muchos sistemas de cultivos alternativos han sido probados: rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura y cultivos mixtos; pero lo más importante es que existen ejemplos de agricultores que demuestran que tales sistemas llevan a la optimización del reciclaje de nutrientes y a la restitución de la materia orgánica, promueven flujos cerrados de energía, conservación de agua y suelos, y un balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales. Esta agricultura diversificada explota las complementariedades que resultan de las combinaciones de cultivos, árboles y animales en diversos arreglos espaciales y temporales (Altieri, 1995).

En esencia, el óptimo comportamiento de los agroecosistemas depende del nivel de interacción entre los varios componentes bióticos y abióticos. Al ensamblar una biodiversidad funcional es posible iniciar la sinergia que subsidia los procesos del agroecosistema, al proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, la promoción de artrópodos benéficos y antagonistas, etc. Hoy existe una gama variada de prácticas y tecnologías disponibles que poseen diferentes grados de efectividad.

#### BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

La estrategia agroecológica busca la revitalización y la diversificación de las pequeñas y medianas propiedades y el rediseño de las políticas agrarias del sistema alimentario, de manera que éste sea económicamente viable para los agricultores y los consumidores. De hecho, en el mundo existen cientos de movimientos que están trabajando desde diferentes perspectivas por un cambio hacia una agricultura ecológicamente sensible. Algunos enfatizan la producción de productos orgánicos para los mercados lucrativos, otros en el manejo racional de recursos, mientras que otros lo hacen en la capacidad de gestión y autonomía de las comunidades campesinas. En general, los objetivos son usual-

mente los mismos: asegurar la autosuficiencia alimentaria; la conservación y regeneración de los recursos naturales; y mejorar la equidad social y la viabilidad económica.

Lo que sucede es que algunos grupos, aunque bien intencionados, sufren de un “determinismo tecnológico” y enfatizan, como estrategia clave, únicamente el desarrollo y disseminación de tecnologías apropiadas o de bajos insumos como si estas tecnologías por sí mismas pudieran desencadenar procesos benéficos de cambio social. La agricultura orgánica que enfatiza la substitución de insumos (substitución de químicos tóxicos por insecticidas biológicos) pero que a su vez deja intacta la estructura del monocultivo, epitomiza a aquellos grupos que tienen una visión relativamente benigna de la agricultura capitalista. Desafortunadamente tal perspectiva, ha evitado que muchos grupos comprendan las raíces estructurales de la degradación ambiental ligadas al monocultivo (Rosset y Altieri, 1997).

Esta estrecha aceptación de la estructura actual de la agricultura, es una condición dada que restringe la posibilidad real de implementar alternativas que pueden cambiar tal estructura. Es así como, las opciones para fomentar una agricultura diversificada son inhibidas, entre otros factores, por las actuales tendencias en el tamaño de fincas y por la mecanización. La implementación de una agricultura diversificada, sólo será posible como parte de un amplio programa que incluya, entre otras estrategias, la reforma agraria y el rediseño de maquinaria agrícola adaptable a los policultivos. Únicamente con la introducción de diseños agrícolas alternativos muy poco se hará por cambiar las fuerzas que promueven el monocultivo, la expansión del tamaño de las fincas y la mecanización.

En Estados Unidos, los programas gubernamentales implementados durante las últimas décadas han creado muchas barreras para cambiar los sistemas de cultivos. En esencia, estos programas han premiado el monocultivo al asegurar a los agricultores un precio determinado para sus productos. Aquellos que no plantan la extensión designada, de maíz o de otros cultivos, pierden los subsidios. Estas medidas generaron una desventaja competitiva para aquellos que usan rotaciones de cultivos, exacerbando sus dificultades económicas (Mc Isaac y Edwards, 1994). Obviamente en un escenario como éste serán necesarios cambios políticos profundos para que los sistemas agrícolas alternativos se desarrollen en un marco económico favorable.

Por otra parte, la gran influencia de las corporaciones multinacionales en la promoción de la venta de agroquímicos y ahora de variedades transgénicas, no

puede ser ignorada como una barrera para la agricultura. La mayoría de las corporaciones multinacionales han aprovechado las políticas actuales que promueven una amplia participación del sector privado en el desarrollo y la difusión de tecnología, colocándose ellas mismas en una posición de poder para expandir, promover y mercadear los plaguicidas. Siendo realista, el futuro de la agricultura será determinado por relaciones de poder y no existe razón alguna para que los agricultores y el público en general, si ganan el poder político suficiente, no puedan influir en dar a la agricultura una orientación acorde con los objetivos de la sustentabilidad.

#### CONCLUSIONES

Las estructuras de la agricultura moderna y de las políticas actuales han influido claramente en el contexto de la producción y de la tecnología agrícola, lo que a su vez ha llevado a generar problemas ambientales de primer y segundo orden. De hecho, dadas las características del modelo económico dominante, las políticas existentes desalientan las prácticas conservadoras de recursos y en muchos casos por cuestiones de economía de escala, estas prácticas no son rentables para los agricultores. Por ello, la expectativa de que una serie de cambios políticos puedan ser implementados como resultado del renacimiento de una agricultura diversificada y a pequeña escala son irreales, dado que esto niega la existencia del concepto de economía de escala en la agricultura e ignora el poder político de las corporaciones agroindustriales y de las tendencias actuales establecidas por la globalización. Es necesaria una transformación más radical de la agricultura, pero ésta debe estar guiada por la noción de que el cambio ecológico en la agricultura no puede ser promovido sin un cambio, comparable, en las esferas sociales, políticas, culturales y económicas que también influyen en la agricultura. En otras palabras, un cambio hacia una agricultura socialmente justa, económicamente viable y ambientalmente segura, debe ser el resultado de movimientos sociales en el sector rural aliados a organizaciones urbanas. Esto es especialmente relevante en el caso de la nueva biorevolución, donde es necesaria una acción concertada para que las compañías de biotecnología sientan la presión de las organizaciones ambientalistas, laborales, de derechos de los animales y de defensa de los consumidores, de manera que los logros de la biotecnología sean reorientados para el beneficio de toda la sociedad y de la naturaleza.

# Capítulo 5

## LOS MITOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA: ALGUNAS CONSIDERACIONES ÉTICAS

### INTRODUCCIÓN

Durante años los académicos han supuesto que la agricultura no representa un problema especial para la ética ambiental, a pesar de que la vida y la civilización humana dependen de la artificialización intencional de la naturaleza para llevar a cabo la producción agrícola. Los críticos de los impactos ambientales provocados por los plaguicidas y de las implicaciones sociales de la tecnología agrícola no han podido conceptualizar una ética ambiental coherente aplicable a los problemas agrícolas (Thompson, 1995). En general, la mayor parte de los que proponen la agricultura sustentable, condicionados por un determinismo tecnológico, carecen de un entendimiento de las raíces estructurales de la degradación ambiental ligada a la agricultura capitalista. Por lo tanto, al aceptar la actual estructura socioeconómica y política de la agricultura como algo establecido, muchos profesionales del agro se han visto limitados para implementar una agricultura alternativa que realmente desafíe tal estructura (Levins y Lewontin, 1985). Esto es preocupante, especialmente hoy que las motivaciones económicas, más que las preocupaciones sobre el medio ambiente, determinan el tipo de investigación y las modalidades de producción agrícola que prevalecen en todo el mundo (Busch et al., 1990).

De aquí que sostengamos que el problema clave que los agroecólogos deben enfrentar, es que la agricultura industrial moderna, resumida hoy por la biotecnología, se funda en premisas filosóficas fundamentalmente falsas y que precisamente esas premisas necesitan ser explicitadas y criticadas para avanzar hacia una agricultura verdaderamente sustentable. Esto es particularmente relevante en el caso de la biotecnología, donde la alianza de la ciencia reduccionista y una industria multinacional monopólica que conjuntamente perciben los problemas agrícolas como simples deficiencias genéticas de los organismos, llevarán a la

agricultura nuevamente por una ruta equivocada (Lewidow y Carr, 1997).

En este sentido, es necesario contrarrestar las falsas promesas hechas por la industria de la ingeniería genética, que argumenta que ella alejará a la agricultura de la dependencia en los insumos químicos, que incrementará su productividad y que también disminuirá los costos de los insumos, ayudando a reducir los problemas ambientales (OTA, 1992). Al oponernos a los mitos de la biotecnología damos a conocer lo que la ingeniería genética es realmente: otra «solución mágica» destinada a evadir los problemas ambientales de la agricultura (que de por sí son el resultado de una ronda tecnológica previa de agroquímicos), sin cuestionar las falsas suposiciones que crearon los problemas en primer lugar (Hindmarsh, 1991).

La biotecnología desarrolla soluciones monogénicas, diseñadas sobre modelos industriales de eficiencia, para problemas que derivan de sistemas de monocultivo ecológicamente inestables. Se ha probado ya que, en el caso de los plaguicidas, tal enfoque unilateral no fue ecológicamente confiable (Pimentel et al., 1992).

#### CUESTIONAMIENTO ÉTICO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Las críticas ambientalistas a la biotecnología cuestionan las suposiciones de que la ciencia de la biotecnología está libre de valores y que no puede estar equivocada o ser mal utilizada, y piden una evaluación ética de la investigación en ingeniería genética y sus productos (Krimsky y Wrubel, 1996). Se considera que quienes proponen la biotecnología tienen una visión utilitaria de la naturaleza y favorecen el libre intercambio (*trade-off*) de las ganancias económicas por el daño ecológico, manteniéndose indiferentes ante las consecuencias que acarrea para los seres humanos (James, 1997). En el corazón de la crítica están los efectos biotecnológicos sobre las condiciones sociales y económicas y los valores religiosos y morales que llevan a preguntas como:

- ¿Deberíamos alterar la estructura genética de todo el reino viviente en nombre de la utilidad y las ganancias ?
- ¿Es la constitución genética de todos los seres vivos la herencia común de todos, o puede ser adquirida por las corporaciones y de esta manera convertirse en propiedad privada de algunos?
- ¿Quién otorgó a las compañías particulares el derecho a monopolizar grupos enteros de organismos?
- ¿Los biotecnólogos se sienten los dueños de la naturaleza? ¿Es ésta una



ilusión construida sobre la arrogancia científica y la economía convencional, ciega a la complejidad de los procesos ecológicos?

¿Es posible minimizar las preocupaciones éticas y reducir los riesgos ambientales manteniendo los beneficios?

También surgen algunas preguntas específicas sobre la naturaleza de la tecnología, en tanto otras cuestionan la dominación de la agenda de investigación agrícola por intereses comerciales. La distribución desigual de los beneficios, los posibles riesgos ambientales y la explotación de los recursos genéticos de las naciones pobres por las ricas, demandan algunas interrogantes más profundas:

¿Quién se beneficia de la biotecnología ? ¿Quién pierde ?

¿Cuáles son las consecuencias para el ambiente y la salud ?

¿Cuáles han sido las alternativas ignoradas ?

¿A qué necesidades responde la biotecnología ?

¿Cómo afecta la tecnología a lo que se está produciendo, cómo, para qué y para quién se está produciendo?

¿Cuáles son las metas sociales y los criterios éticos que guían la investigación biotecnológica?

¿Biotecnología, para lograr qué metas sociales y agronómicas?

#### LOS MITOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

Las corporaciones de agroquímicos que controlan la dirección y los objetivos de la innovación agrícola por medio de la biotecnología, sostienen que la ingeniería genética mejorará la sustentabilidad de la agricultura resolviendo los problemas que afectan al manejo agrícola convencional y librarán a los agricultores del tercer mundo de la baja productividad, la pobreza y el hambre (Molnar y Kinnucan, 1989; Gresshoft, 1996). Comparando el mito con la realidad, la siguiente sección describe cómo y por qué los avances actuales de la biotecnología agrícola no logran tales promesas y expectativas.

Mito 1:

*La biotecnología beneficiará a los agricultores de Estados Unidos y del mundo desarrollado.*

La mayoría de las innovaciones en biotecnología agrícola son más motivadas por criterios económicos que por necesidades humanas. Por lo tanto, la finalidad de la industria de la ingeniería genética no es resolver problemas agrí-

### *Los mitos de la biotecnología agrícola*

colas, sino obtener ganancias. Más aún, la biotecnología busca industrializar en mayor grado la agricultura e intensificar la dependencia de los agricultores de los insumos industriales, ayudados por un sistema de derechos de propiedad intelectual que legalmente inhibe los derechos de los agricultores a: reproducir, intercambiar y almacenar semillas (Busch et al., 1990). Al controlar el germoplasma desde la semilla hasta la venta y forzar a los agricultores a pagar precios inflados por los paquetes de semilla-química, las compañías están dispuestas a obtener el mayor provecho de su inversión.

Debido a que las biotecnologías requieren grandes capitales, continuarán condicionado el patrón de cambio de la agricultura en los Estados Unidos, aumentando la concentración de la producción agrícola en manos de las grandes corporaciones. Como en el caso de otras tecnologías que ahorran mano de obra, al aumentar la productividad, la biotecnología tiende a reducir los precios de los bienes y a poner en marcha una maquinaria tecnológica que deja fuera del negocio a un número significativo de agricultores, especialmente de pequeña escala. El ejemplo de la hormona de crecimiento bovino, confirma la hipótesis de que la biotecnología acelerará la desaparición de las pequeñas fincas lecheras (Krimsky y Wrubel, 1996).

#### Mito 2:

*La biotecnología beneficiará a los pequeños agricultores y favorecerá a los hambrientos y pobres del tercer mundo.*

Si la Revolución Verde ignoró a los pequeños agricultores y de escasos recursos, la biotecnología exacerbará aún más la marginación porque tales tecnologías, que están bajo el control de corporaciones y protegidas por patentes, son costosas e inapropiadas para las necesidades y circunstancias de los grupos indígenas y campesinos (Lipton, 1989). Ya que la biotecnología es una actividad principalmente comercial, esta realidad determina las prioridades de qué investigar, cómo se aplica y a quién beneficiará. En tanto el mundo carece de alimentos y sufre de contaminación por plaguicidas, el foco de las corporaciones multinacionales es la ganancia, no la filantropía. Esta es la razón por la cual los biotecnólogos diseñan cultivos transgénicos para nuevos tipos de mercado o para sustitución de las importaciones, en lugar de buscar mayor producción de alimentos (Mander y Goldsmith, 1996). En general las compañías de biotecnología ponen énfasis en un rango limitado de cultivos para los cuales hay mercados grandes y seguros, dirigidos a sistemas de producción de grandes capitales. Como los cultivos transgénicos son plantas patentadas, esto significa que los campesinos pueden perder sus derechos sobre su propio germoplasma

regional y no se les permitirá, según la Organización Mundial de Comercio (OMC), reproducir, intercambiar o almacenar semillas de su cosecha (Grupo Crucible, 1994). Es difícil concebir cómo se introducirá este tipo de tecnología en los países del tercer mundo de modo que favorezca a las masas de agricultores pobres.

Si los biotecnólogos estuvieran realmente comprometidos en alimentar al mundo, ¿porqué los genios de la biotecnología no se vuelcan a desarrollar nuevas variedades de cultivos más tolerantes a las malezas en vez de a las herbicidas? ¿O por qué no se desarrollan productos de biotecnología más promisorios, como plantas fijadoras de nitrógeno o tolerantes a la sequía?

Los productos de la biotecnología debilitarán las exportaciones de los países del tercer mundo, especialmente de los productores de pequeña escala. El desarrollo, por medio de la biotecnología, del producto "Thaumatococcus" es apenas el comienzo de una transición hacia edulcorantes alternativos que en el futuro reemplazarán al mercado del azúcar del tercer mundo (Mander y Goldsmith, 1996). Se estima que alrededor de 10 millones de agricultores de caña de azúcar en el tercer mundo podrían enfrentar la pérdida de su sustento cuando los edulcorantes procesados en laboratorio comiencen a invadir los mercados mundiales. La fructosa producida por la biotecnología ha capturado ya cerca del 10% del mercado mundial y ha causado la caída de los precios del azúcar, dejando sin trabajo a cientos de miles de trabajadores. Pero tal limitación de las oportunidades rurales no se reduce a los edulcorantes. Unos 70,000 agricultores productores de vainilla en Madagascar quedaron en la ruina cuando una firma de Texas produjo vainilla en sus laboratorios de biotecnología (Busch et al., 1990).

La expansión de las palmas aceiteras clonadas por Unilever incrementarán de manera sustancial la producción de aceite de palma con dramáticas consecuencias para los agricultores que producen otros aceites vegetales (de maní en Senegal y de coco en Filipinas).

**Mito 3:**

*La biotecnología no atentará contra la soberanía ecológica del tercer mundo.*

Desde que el norte se dio cuenta de los servicios ecológicos que proporciona la biodiversidad, de los cuales el sur es el mayor repositorio, el tercer mundo ha sido testigo de una «fiebre genética», en la medida en que las corporaciones multinacionales exploran los bosques, campos de cultivos y costas en busca del oro genético del sur (Kloppenborg, 1988).

### *Los mitos de la biotecnología agrícola*

Protegidas por la OMC, estas corporaciones practican libremente la "biopiratería", la cual cuesta a las naciones en desarrollo, según la Fundación para el Avance Rural (RAFI) unos \$4,500 millones de dólares al año por la pérdida de regalías de las compañías productoras de alimentos y productos farmacéuticos, las cuales usan el germoplasma y las plantas medicinales de los campesinos e indígenas (Levidow y Carr, 1997).

Está claro que los pueblos indígenas y su diversidad son vistos como materia prima por las corporaciones multinacionales, las cuales han obtenido miles de millones de dólares en semillas desarrolladas en los laboratorios de EE.UU. a partir de germoplasma que los agricultores del tercer mundo mejoraron cuidadosamente por generaciones (Fowler y Mooney, 1990). Por el momento, los campesinos no son recompensados por su milenario conocimiento, mientras las corporaciones multinacionales empiezan a obtener regalías de los países del tercer mundo estimadas en miles de millones de dólares. Hasta ahora las compañías de biotecnología no han recompensado a los agricultores del tercer mundo por la expropiación de sus semillas y recursos genéticos (Kloppenburg, 1988).

#### Mito 4:

##### *La biotecnología conducirá a la conservación de la biodiversidad.*

Aunque la biotecnología tiene la capacidad de crear nuevas variedades de plantas comerciales y de esta manera contribuir a la biodiversidad, es difícil que esto suceda. La estrategia de las corporaciones multinacionales es crear amplios mercados internacionales para la semilla de un sólo producto. La tendencia es formar mercados internacionales de semillas uniformes (Mac Donald, 1991). Aún más, las medidas dictadas por las corporaciones multinacionales sobre el sistema de patente que prohíbe a los agricultores rehusar la semilla que rinde sus cosechas, afectará las posibilidades de la conservación *in situ* y el mejoramiento de la diversidad genética a nivel local.

Los sistemas agrícolas desarrollados con cultivos transgénicos favorecerán los monocultivos que se caracterizan por niveles peligrosos de homogeneidad genética, los cuales conducen a una mayor vulnerabilidad de los sistemas agrícolas al estrés biótico y abiótico (Robinson, 1996). Conforme la nueva semilla producida por bioingeniería reemplaza a las antiguas variedades tradicionales y a sus parientes silvestres, se acelerará la erosión genética (Fowler y Mooney, 1990). De este modo, la presión por la uniformidad no sólo destruirá la diversidad de los recursos genéticos, sino que también romperá la complejidad biológica que condiciona la sustentabilidad de los sistemas agrícolas tradicionales (Altieri, 1994).

**Mito 5:**

*La biotecnología no es ecológicamente dañina y dará origen a una agricultura sustentable libre de químicos.*

La biotecnología se está desarrollando para «resolver» los problemas causados por las anteriores tecnologías con agroquímicos (resistencia a los plaguicidas, contaminación, degradación del suelo, etc.), los cuales fueron promovidos por las mismas compañías que ahora son líderes de la biorrevolución. Los cultivos transgénicos desarrollados para el control de plagas siguen fielmente el paradigma de los plaguicidas de usar un sólo mecanismo de control que ha fallado una y otra vez con insectos, patógenos y malezas (NRC, 1996). Los cultivos transgénicos tienden a incrementar el uso de los plaguicidas y acelerar la evolución de “super malezas” y plagas de razas de insectos resistentes (Rissler y Melion, 1996). El enfoque “un gen resistente - una plaga” ha sido superado fácilmente por las plagas, las cuales se adaptan continuamente a nuevas situaciones y sus mecanismos de detoxificación evolucionan (Robinson, 1997).

Hay muchas preguntas ecológicas sin respuesta respecto al impacto de la liberación de plantas y microorganismos transgénicos en el medio ambiente. Entre los principales riesgos asociados con las plantas obtenidas por ingeniería genética están la transferencia no intencional de los “transgenes” a parientes silvestres de los cultivos y los efectos ecológicos impredecibles que esto implica (Rissler y Mellon, 1996).

Por las consideraciones mencionadas, la teoría agroecológica predice que la biotecnología exacerbará los problemas de la agricultura convencional y al promover los monocultivos también socavará los métodos ecológicos de manejo agrícola, tales como la rotación y los policultivos (Hindmarsh, 1991). Como está concebida en la actualidad, la biotecnología no se adapta a los amplios ideales de una agricultura sustentable (Kloppenburg y Burrows, 1996).

**Mito 6:**

*La biotecnología mejorará el uso de la biología molecular para beneficio de todos los sectores de la sociedad.*

La demanda por la nueva biotecnología no surgió como un resultado de demandas sociales, sino de cambios en las leyes de patentes y los intereses de lucro de las compañías de químicos de enlazar semillas y plaguicidas.

La tecnología surgió a partir de los sensacionales avances de la biología molecular y de la disponibilidad de capitales aventureros para arriesgar, como

### *Los mitos de la biotecnología agrícola*

resultado de leyes de impuestos favorables (Webber, 1990). El peligro está en que el sector privado está influyendo en la dirección de la investigación del sector público en una forma sin precedentes (Kleinman y Kloppenburg, 1988).

En la medida en que más universidades e institutos públicos de investigación se asocien con las corporaciones, aparecen cuestiones éticas más serias sobre quién es dueño de los resultados de la investigación y qué investigaciones se hacen. La tendencia de los investigadores universitarios involucrados en tales asociaciones a guardar el secreto, trae a colación preguntas sobre ética personal y sobre conflictos de intereses.

En muchas universidades, la habilidad de un profesor para atraer la inversión privada es a menudo más importante que las calificaciones académicas, eliminando los incentivos para que los científicos sean responsables ante la sociedad. Las áreas como el control biológico y la agroecología, que no atraen el apoyo corporativo, están siendo dejadas de lado y esto no favorece al interés público (Kleinman y Koppenburg, 1988).

### CONCLUSIONES

A fines de la década de los años 80, una publicación de Monsanto indicaba que en el futuro la biotecnología revolucionaría a la agricultura con productos basados en los métodos propios de la naturaleza, haciendo que el sistema agrícola fuera más amigable para el medio ambiente y más provechoso para el agricultor (OTA, 1992). Más aún, se proporcionarían plantas con defensas genéticas autoincorporadas contra insectos y patógenos. Desde entonces, muchos otros han prometido varias otras recompensas que la biotecnología puede brindar a través del mejoramiento de cultivos. El dilema ético es que muchas de estas promesas son infundadas y muchas de las ventajas o beneficios de la biotecnología no han podido o no han sido hechos realidad.

Aunque es claro que la biotecnología puede ayudar a mejorar la agricultura, dada su actual orientación, la biotecnología promete más bien daños al medio ambiente, una mayor industrialización de la agricultura y una intrusión más profunda de intereses privados en la investigación del sector público. Hasta ahora la dominación económica y política de las corporaciones multinacionales en la agenda de desarrollo agrícola ha tenido éxito a expensas de los intereses de los consumidores, campesinos, pequeñas fincas familiares, la vida silvestre y el medio ambiente.

Para la sociedad civil es urgente tener una mayor participación en las deci-

siones tecnológicas, para que el dominio que ejercen los intereses corporativos sobre la investigación científica sea balanceado por un control público más estricto. Las organizaciones públicas nacionales e internacionales tales como FAO, CGIAR, etc., tendrán que monitorear y controlar que los conocimientos aplicados no sean propiedad del sector privado para proteger que tal conocimiento continúe en el dominio público para beneficio de las sociedades rurales. Deben desarrollarse regímenes de regulación, controlados públicamente y emplearlos para monitorear y evaluar los riesgos sociales y ambientales de los productos de la biotecnología (Webber, 1990).

Finalmente, la tendencia hacia una visión reduccionista de la naturaleza, de la agricultura promovida por la biotecnología contemporánea debe ser revertida por un enfoque más holístico, ésta para poder asegurar que las alternativas agroecológicas no sean ignoradas y que sólo se investiguen y desarrollen aspectos biotecnológicos ecológicamente aceptables. Ha llegado el momento de enfrentar efectivamente el reto y la realidad de la ingeniería genética. Como ha ocurrido con los plaguicidas, las compañías de biotecnología deben sentir el impacto de los movimientos ambientalistas, laborales y campesinos de modo que reorienten su trabajo para el beneficio de toda la sociedad y la naturaleza. El futuro de la investigación con base en la biotecnología estará determinado por relaciones de poder y no hay razón para que los agricultores y el público en general, si se les da suficiente poder, no puedan influir en la dirección de la biotecnología, de modo que cumpla con las metas de la sustentabilidad.

# Capítulo 6

## RIESGOS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS

### INTRODUCCIÓN

La ingeniería genética es una aplicación de la biotecnología que implica la manipulación de ADN y la transferencia de componentes genéticos entre especies, para lograr la manifestación intergeneracional estable de determinados rasgos genéticos. Aunque la ingeniería genética tiene múltiples aplicaciones en la agricultura, el enfoque actual de la biotecnología está centrado en el desarrollo de cultivos transgénicos, tales como los resistentes a herbicidas, a plagas y a enfermedades. Empresas multinacionales como Monsanto, DuPont, Novartis, etc., que son los principales promotores de la biotecnología, promueven los cultivos transgénicos como una manera de reducir la dependencia de insumos, tales como plaguicidas y fertilizantes. Lo irónico es que esta «biorevolución» está siendo introducida por los mismos intereses que promovieron la primera ola de agricultura basada en agroquímicos. Ahora, equipando cada cultivo con nuevos «genes insecticidas», prometen al mundo plaguicidas más seguros, disminución en el uso intensivo de agroquímicos y una agricultura más sostenible.

Mientras los cultivos transgénicos sigan ciegamente el paradigma de los plaguicidas, los productos biotecnológicos no harán sino reforzar el uso de los plaguicidas en los agrosistemas, legitimando las preocupaciones que tantos científicos han expresado sobre los posibles riesgos ambientales de los organismos modificados genéticamente.

Dado el poder de la biotecnología para producir combinaciones de genes que no se encuentran de forma natural, los riesgos ecológicos más graves que presenta el uso comercial de cultivos transgénicos son, de acuerdo a varios autores (Rissler y Mellon, 1996; Krimsky y Wrubel, 1996):

- a) la expansión de los cultivos transgénicos amenaza la diversidad genética



*Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos*

al promover la simplificación de los sistemas de cultivos y la acentuación de la erosión genética;

- b) la transferencia potencial de genes de cultivos resistentes a herbicidas a variedades silvestres o parientes semidomesticados puede crear supermalezas;
- c) los cultivos resistentes a herbicidas se pueden transformar en malezas en las cosechas siguientes;
- d) el uso de cultivos resistentes a herbicidas puede disminuir las posibilidades de diversificación de cultivos y dar lugar a una reducción de la agrobiodiversidad;
- e) la transferencia horizontal de genes, a través de vectores y su recombinación, puede crear nuevas bacterias patógenas;
- f) la recombinación de vectores que generan variedades de virus más nocivas, sobre todo en plantas transgénicas con genes virales diseñadas para ser resistentes a los virus.
- g) el riesgo de que las plagas de insectos desarrollen rápidamente resistencia a los cultivos que contienen la toxina de *Bacillus thuringiensis* (Bt);
- h) el uso masivo de la toxina de Bt en cultivos, puede desencadenar interacciones potencialmente negativas que afecten a procesos ecológicos y a organismos benéficos en la cadena trófica.

Evaluamos aquí los impactos potenciales de la biotecnología agrícola en el contexto de metas agroecológicas que apunten hacia una agricultura socialmente más justa, económicamente viable y ecológicamente apropiada. Tal evaluación es oportuna, dado que a nivel mundial ha habido más de 1,500 solicitudes de pruebas de campo de cultivos transgénicos aprobadas (el 87 % de todas las pruebas de campo desde 1987 han sido solicitadas por el sector privado), a pesar de que en la mayoría de los países no existen regulaciones estrictas de bioseguridad que se ocupen de los problemas ambientales que pueden surgir cuando se liberan al medio ambiente plantas diseñadas por ingeniería genética. Un hecho alarmante es que las presiones internacionales de las empresas para ganar mercados y aumentar beneficios está llevando a la rápida liberación de cultivos transgénicos, sin una consideración adecuada de los impactos a largo plazo sobre las personas o el ecosistema.

#### ACTORES Y ORIENTACIONES EN INVESTIGACIÓN

La mayoría de las innovaciones en biotecnología agrícola están motivadas por el afán de lucro, más que por la búsqueda de respuestas a las necesidades humanas, por lo que el énfasis de la industria de la ingeniería genética realmente no está puesto en resolver los problemas agrícolas, sino en el incremento de la rentabilidad. Esta aseveración se apoya en el hecho de que al menos veintisiete empresas, entre las que se incluyen las ocho compañías de plaguicidas más grandes del mundo, Bayer, Ciba-Geigy (ahora Novartis), ICI, Rhone-Poulenc, Dow/Elanco, Monsanto, Hoescht y DuPont, y virtualmente todas las compañías de semillas, muchas de las cuales han sido adquiridas por compañías químicas, han comenzado investigaciones sobre plantas resistentes a herbicidas.

Entre 1986 y 1992, el 57% de todos los ensayos de campo para experimentar con cultivos transgénicos en países industrializados implicaban la resistencia a herbicidas, y el 46% de los que solicitaron al Ministerio de Agricultura de Estados Unidos (USDA) pruebas de campo, fueron compañías químicas. Entre los cultivos diseñados para la tolerancia genética a uno o más herbicidas se incluyen actualmente: alfalfa, canola, algodón, maíz, avena, petunia, patata, arroz, sorgo, soya, remolacha, caña de azúcar, girasol, tabaco, tomate, trigo y otros. Está claro que creando cosechas resistentes a sus herbicidas, una compañía puede expandir el mercado de sus productos químicos patentados. Se estima que el valor del mercado para cultivos resistentes a plaguicidas rondará los 500 millones de dólares en el año 2000 (James, 1997).

Aunque algunas pruebas son conducidas por universidades y organizaciones de investigación avanzada, la agenda de investigación de estas instituciones está cada vez más influenciada por el sector privado. El 46% de las empresas de biotecnología financian la investigación biotecnológica llevada a cabo en las universidades, mientras que 33 de los 50 estados de Estados Unidos tienen centros compartidos entre universidad e industria para la transferencia de biotecnología. El desafío para estas instituciones será no sólo asegurar que se investiguen los aspectos ecológicamente apropiados de la biotecnología (tales como fijación de nitrógeno, tolerancia a la sequía, etc.), sino también supervisar y controlar cuidadosamente la entrega del conocimiento común al sector privado, para garantizar que ese conocimiento siga siendo de dominio público y beneficie a toda la sociedad.

#### BIOTECNOLOGÍA Y AGROBIODIVERSIDAD

Las empresas multinacionales en la actualidad tienden a crear amplios mer-

### *Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos*

cados internacionales para un sólo producto, generando así las condiciones para la uniformidad genética en el paisaje rural. Además, la protección de patentes y los derechos de propiedad intelectual adoptados por la OMC, no permiten a los agricultores reutilizar, compartir ni almacenar sus semillas, aumentando así la posibilidad de que unas pocas variedades lleguen a dominar todo el mercado de semillas. Aunque, un cierto grado de uniformidad de los cultivos puede tener ciertas ventajas económicas, tiene dos inconvenientes ecológicos. Primero, la historia ha demostrado que un área extensa dedicada a un sólo cultivo es muy vulnerable a un nuevo patógeno o plaga. Segundo, el uso extendido de un sólo cultivo lleva a la pérdida de la diversidad genética.

Datos provenientes de la Revolución Verde demuestran claramente que la difusión de variedades modernas, apoyadas en enormes campañas gubernamentales que animaron a los agricultores a adoptar variedades modernas y abandonar muchas variedades locales, ha sido una causa importante de la erosión genética. La uniformidad causada por el aumento de áreas de cultivo dedicadas a un número menor de variedades es una fuente de riesgo para los agricultores, ya que las variedades modernas pueden ser más vulnerables a los ataques de enfermedades y plagas, y la mayoría se desarrolla pobremente en tierras marginales (Robinson, 1996).

Los efectos anteriores no son sólo característicos de las variedades modernas y cabe esperar, dada la naturaleza monogénica y la rápida expansión de sus áreas de cultivo, que los cultivos transgénicos sólo exacerben esos efectos.

### PROBLEMAS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS RESISTENTES A LOS HERBICIDAS

Según los defensores de los cultivos resistentes a herbicidas, esta tecnología representa una innovación que permite a los agricultores simplificar las tareas de control de malezas, al reducir el uso de herbicidas a situaciones de post-emergencia, usando un sólo herbicida de amplio espectro que se descompone con relativa rapidez en el suelo. Los herbicidas candidatos con esas características incluyen entre otros el glifosato, el bromoxynil, la sulfonilurea, los imidazoles y el glufosinato amonio.

Sin embargo, en la actualidad, el uso de cultivos resistentes a herbicidas probablemente incrementará el uso de herbicidas específicos, y dada la cantidad de herbicidas y las extensas áreas de cultivo, es probable que se eleven también los costos de producción. Los ecologistas también prevén un gran número de problemas ambientales graves .

*Resistencia a herbicidas*

Ha sido probado que cuando se utiliza un sólo herbicida reiteradamente sobre un cultivo, aumentan en gran medida las posibilidades de que la población de malezas desarrollen resistencia al herbicida. Las sulfonilureas y los imidazoles son particularmente propensos a la rápida evolución de malezas resistentes y se conocen hasta catorce especies que se han vuelto resistentes a los herbicidas con sulfonilurea. La *Cassia obtusifolia*, una maleza agresiva típica de la soya y el maíz en el sureste de los Estados Unidos, ha desarrollado resistencia a los herbicidas con imidazolinona (Holt y Le Baron, 1990).

El problema es que dada la presión de la industria para aumentar las ventas de herbicidas, la superficie tratada con herbicidas de amplio espectro se extenderá, exacerbando el problema de generación de resistencia. Por ejemplo, se ha proyectado que la superficie tratada con glifosato aumentará a casi 60 millones de hectáreas. Aunque el glifosato es considerado menos propenso a desarrollar malezas resistentes, el aumento en su uso producirá resistencia en malezas, aunque más lentamente, como se ha documentado en poblaciones australianas de joyo anual, *quackgrass*, trébol *birdsfoot* y *Cirsium arvense*.

*Impactos ecológicos de los herbicidas*

Las compañías afirman que el bromoxynil y el glifosato, cuando se aplican correctamente, se degradan rápidamente en el suelo, no se acumulan en las aguas subterráneas, no tienen efectos en otros organismos que sus objetivos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, hay evidencia de que el bromoxynil causa defectos de nacimiento en animales de laboratorio, es tóxico para los peces y puede causar cáncer en seres humanos. Debido a que el bromoxynil es absorbido por vía dermatológica, y porque causa defectos de nacimiento en roedores, es probable que presente riesgos para los agricultores y trabajadores del campo (Paoletti y Pimentel, 1996).

Igualmente, hay informes que afirman que el glifosato puede ser tóxico para algunas especies que habitan en el suelo y que son distintas de sus plantas objetivo, tanto para depredadores benéficos como arañas, ácaros, escarabajos carábidos y coccinélidos y detritívoros (p. ej. las lombrices de tierra), como para diferentes organismos acuáticos, incluso peces. Se sabe que este herbicida se acumula en frutas y tubérculos, ya que experimenta una escasa degradación metabólica en las plantas, lo que plantea interrogantes sobre la seguridad de estas plantas tratadas, como alimento.

## *Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos*

### *La creación de «supermalezas»*

Aunque existe la preocupación de que los cultivos transgénicos se puedan convertir a su vez en malezas, el mayor riesgo ecológico es que liberaciones a gran escala de cultivos transgénicos puedan provocar el flujo de transgenes de los cultivos a otras plantas silvestres que entonces pueden transformarse en malezas. El proceso biológico que preocupa aquí es la introgresión, es decir, la hibridación entre distintas especies de plantas. La evidencia indica que ya existen tales intercambios genéticos entre plantas silvestres, malezas y cultivos. La incidencia del sorgo bicolor, una maleza emparentada con el sorgo, y el flujo genético entre el maíz y el teosinte, demuestran el potencial de los parientes cercanos de los cultivos transgénicos para volverse malezas peligrosas. Esto es preocupante, ya que varios cultivos de los Estados Unidos crecen cerca de parientes silvestres sexualmente compatibles. También hay cultivos que crecen en las proximidades de malezas silvestres que no son parientes cercanos pero que pueden tener algún grado de compatibilidad cruzada tales como los cruces de *Raphanus raphanistrum* con *R. sativus* (rábano) y del pasto Johnson con maíz sorgo (Darmency, 1994).

### *Reducción de la complejidad del agroecosistema*

La eliminación total de malezas, mediante el empleo de herbicidas de amplio espectro, puede provocar impactos ecológicos indeseables, ya que se ha demostrado que un nivel adecuado de diversidad de malezas en los alrededores o dentro de los campos de cultivo, puede jugar un papel ecológico importante, como por ejemplo la estimulación del control biológico de plagas, la mejora de la cobertura protectora contra la erosión del suelo, etc.

Lo más probable es que los cultivos resistentes a herbicidas refuercen el monocultivo al inhibir las rotaciones y los policultivos sensibles a los herbicidas empleados en los cultivos resistentes a éstos. Tales agroecosistemas, empobrecidos en su diversidad vegetal, proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento libre de malezas, insectos y enfermedades, ya que muchos nichos ecológicos no serán ocupados por otros organismos. Es más, los cultivos resistentes a herbicidas, a través del incremento de la efectividad del herbicida, podrían reducir aún más la diversidad vegetal, al favorecer cambios en la composición y abundancia de la comunidad de malezas y especies competitivas que se adaptan a esos tratamientos de post-emergencia de amplio espectro (Altieri, 1994).

## RIESGOS AMBIENTALES DE LOS CULTIVOS RESISTENTES A INSECTOS

### *Resistencia*

Según la industria, los cultivos transgénicos con inserción de genes de Bt (*Bacillus thuringiensis*), prometen reemplazar el uso de insecticidas sintéticos en el control de plagas de insectos. Sin embargo, puesto que la mayoría de los cultivos padecen diversas plagas de insectos, igualmente habrá que aplicar insecticidas para controlar otras plagas diferentes a los Lepidoptera, que son los sensibles a la endotoxina expresada por los cultivos Bt (Gould, 1994).

Por otro lado, se sabe que varias especies de Lepidoptera han desarrollado resistencia a la toxina Bt, tanto en pruebas de campo como de laboratorio, lo que hace suponer graves problemas de resistencia en cultivos Bt, donde la expresión continua de la toxina crea una fuerte presión selectiva. Ya que se ha aislado una diversidad de genes de la toxina Bt, los biotecnólogos argumentan que si se desarrolla resistencia a ellos, pueden usarse formas alternativas de la toxina Bt. Sin embargo, ya que es probable que los insectos desarrollen resistencia múltiple o resistencia cruzada, tal estrategia también está condenada al fracaso.

Basándose en experiencias pasadas con plaguicidas, otros han propuesto planes de manejo de la resistencia con cultivos transgénicos, tales como el uso de mezclas de semillas y refugios. Los refugios no sólo requieren de la difícil tarea de coordinación regional entre agricultores, sino que además han presentado un éxito muy reducido con los plaguicidas químicos, debido a que las poblaciones de insectos no están restringidas a un agroecosistema cerrado, y los insectos que entran están expuestos a dosis cada vez más bajas de la toxina en la medida que el plaguicida se degrada.

### *Impactos sobre otros organismos*

Al mantener a la población de plagas en niveles sumamente bajos, los cultivos de Bt pueden causar la mortandad por hambre a sus enemigos naturales, en la medida en que estos insectos beneficiosos necesitan por lo menos una cantidad pequeña de presas para sobrevivir en el agroecosistema. Los insectos parásitos serían los más afectados, ya que dependen de huéspedes vivos para su desarrollo y supervivencia, mientras que algunos depredadores podrían teóricamente alimentarse de presas muertas o agonizantes.

También se podrían afectar directamente a enemigos naturales a través de los efectos de la toxina a nivel intertrófico. Estudios realizados en Escocia su-

### *Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos*

gieren que los áfidos fueron capaces de secuestrar la toxina del cultivo Bt y transferirla a sus depredadores (coccinélidos), afectando a su vez la reproducción y longevidad de estos escarabajos benéficos. Además que los herbívoros secuestran sustancias químicas secundarias de las plantas, afectando al comportamiento de los parásitos, no es algo fuera de lo común. La posibilidad de que las toxinas de Bt se muevan a través de las cadenas alimentarias de los artrópodos presenta graves implicaciones para el control biológico en agroecosistemas (Hilbeck *et al.*, 1998).

Las toxinas de Bt pueden incorporarse al suelo a través del material vegetal que se descompone, y pueden persistir de 2 a 3 meses, resistiéndose a la degradación al ligarse a las partículas de arcilla, mientras mantienen la actividad de la toxina. Estas toxinas activas de Bt que se acumulan en el suelo y en el agua y que provienen de los desechos de cultivos transgénicos, pueden afectar negativamente a los invertebrados terrestres y acuáticos, así como a los procesos cíclicos de nutrientes. Todos estos aspectos merecen una investigación más seria (Palm *et al.*, 1996).

#### *Efectos cascada*

Una consecuencia muy grave para el medio ambiente, como resultado del uso masivo de la toxina de Bt en algodón u otro cultivo que ocupe una gran superficie del paisaje agrícola, es que los agricultores vecinos con cultivos diferentes al algodón, pero que comparten complejos similares de plagas, pueden ver como poblaciones de insectos resistentes colonizan sus campos. Es posible que plagas de Lepidoptera que desarrollan resistencia al algodón Bt se muden a los campos adyacentes, donde los agricultores usan Bt como un insecticida microbiano, lo que dejaría a éstos indefensos ante tales plagas, ya que el bioplaguicida sería ineficaz, perdiendo una herramienta importante de control biológico. ¿Quién se hará responsable de tales pérdidas?

#### IMPACTOS DE LOS CULTIVOS RESISTENTES A ENFERMEDADES

Algunos científicos han intentado diseñar plantas resistentes a infecciones patógenas incorporando genes para productos virales en el genoma de las plantas. Aunque el uso de genes virales para la resistencia a virus en cultivos tiene beneficios potenciales, hay algunos riesgos. La recombinación entre el ADN del virus y un ADN viral dentro del cultivo transgénico, podría producir un nuevo patógeno que provoque problemas de enfermedad más severos. Algunos

investigadores han demostrado que en plantas transgénicas ocurren recombinaciones y que bajo ciertas condiciones se puede producir una nueva raza viral con un rango alterado de huéspedes (Snow y Moran, 1997).

La posibilidad de que las plantas transgénicas resistentes a los virus puedan ampliar el rango de huéspedes de algunos virus, o puedan permitir la producción de nuevas razas de virus a través de la recombinación y/o la transcapsidación exige una investigación experimental cuidadosa.

#### EL COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS LIBERADOS EN EL AMBIENTE

Hasta principios de 1997, trece cultivos genéticamente modificados que ya se encontraban en el mercado o en los campos por primera vez, no habían sido regulados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En 1996, más del 20% de la superficie cultivada con soya en los Estados Unidos fue sembrada con soya tolerante al *Round-up* y cerca de 160,000 hectáreas se sembraron con maíz transgénico Bt. Esta superficie aumentó considerablemente en 1997 (algodón transgénico: 1 millón 200 mil ha, maíz transgénico: 3 millones 240 mil ha, y soya: 3 millones 270 mil ha) debido a acuerdos de mercado y distribución entre empresas y comercializadoras (por ejemplo Ciba Seeds con Growmark y Mycogen Plant Sciences con Cargill).

Dada la velocidad con que los productos se mueven de las pruebas de laboratorio a la producción del campo, se plantea la cuestión sobre si los cultivos transgénicos responden a las expectativas de la industria biotecnológica. Según ciertos datos aportados por la Union of Concerned Scientists, ya hay signos de que el uso a escala comercial de algunos cultivos transgénicos presenta graves riesgos ecológicos y no responde a las promesas de la industria.

El aparente “comportamiento resistente” del gusano bellotero del algodón, que se manifiesta en la capacidad del herbívoro de encontrar áreas del tejido de la planta con bajas concentraciones de Bt, plantea la cuestión no sólo sobre lo adecuado de las estrategias de gestión de resistencia, sino también acerca del modo en que los biotecnólogos subestiman la capacidad de los insectos de superar de formas inesperadas la resistencia genética.

De la misma forma, los pobres rendimientos de las cosechas de algodón resistente al herbicida a causa de los efectos fitotóxicos del *Round-up* en unas mil 600 o dos mil hectáreas en el delta del Mississippi (New York Times, 1997), muestran los resultados irregulares de los cultivos resistentes a herbicidas cuan-



do están sujetos a condiciones agroclimáticas variables. Monsanto argumenta que éste es un caso muy pequeño y localizado, que está siendo utilizado por los ecologistas para oscurecer los beneficios que supuso la tecnología para una superficie total de 800,000 acres. Sin embargo, desde un punto de vista agroecológico, este incidente es bastante significativo y merece una extensa evaluación, ya que carece de base científica el asumir que una tecnología homogeneizadora tendrá un buen comportamiento en una variedad de condiciones heterogéneas.

#### CONCLUSIONES

La historia de la agricultura nos enseña que las enfermedades de las plantas, las plagas de insectos y las malezas se volvieron más severas con el desarrollo del monocultivo, y que los cultivos intensivos y manipulados genéticamente pierden pronto su diversidad genética. Con estos antecedentes no hay razón para creer que los insectos, malezas y patógenos no desarrollarán resistencia a los cultivos transgénicos, como ha sucedido con los plaguicidas. No importa qué estrategias se usen para retardar la resistencia, las plagas se adaptarán y superarán las barreras agronómicas. Las enfermedades y las plagas siempre han aumentado con los cambios que implica una mayor homogeneidad en la agricultura.

El hecho de que la hibridación interespecífica y la introgresión sean comunes a especies tales como girasol, maíz, sorgo, colza, arroz, trigo y papa, sienta las bases para esperar un flujo de genes entre los cultivos transgénicos y sus parientes silvestres creando así nuevas malezas resistentes a los herbicidas. A pesar de que algunos científicos argumentan que la ingeniería genética no es diferente al mejoramiento convencional, los críticos de la biotecnología afirman que la tecnología del ADN recombinante permite la expresión de nuevos genes exóticos en las plantas transgénicas. Estas transferencias de genes están mediadas por vectores que derivan de virus y plásmidos causantes de enfermedades, que tienen la capacidad de atravesar las barreras entre las especies de tal forma que pueden transferir genes entre una gran variedad de especies, infectando así a muchos otros organismos del ecosistema (Streinbrecher, 1996).

Pero los efectos ecológicos no se limitan a la resistencia de las plagas y la creación de nuevas malezas o tipos de virus. Como se argumenta aquí, los cultivos transgénicos pueden producir toxinas ambientales que se mueven a través de la cadena alimenticia y que también pueden terminar en el suelo y el agua afectando a invertebrados y probablemente a procesos ecológicos tales como el reciclaje de nutrientes.

Muchas personas exigen la creación de una regulación apropiada para controlar la evaluación y liberación de cultivos transgénicos, y contrarrestar los riesgos ambientales. También exigen una evaluación más adecuada y la comprensión de los temas ecológicos asociados con la ingeniería genética. Esto es crucial, ya que muchos de los resultados del comportamiento ambiental de los cultivos transgénicos liberados sugieren que en el desarrollo de los «cultivos resistentes», no sólo deben evaluarse los efectos directos en el insecto o la maleza, sino también los efectos indirectos en la planta (p. ej. crecimiento, contenido de nutrientes, cambios metabólicos), en el suelo y en otros organismos presentes en el ecosistema.

También se reclama un apoyo continuo para investigar la agricultura ecológica, ya que todos los problemas biológicos que la biotecnología pretende solucionar se pueden resolver con enfoques agroecológicos. Los efectos benéficos de las rotaciones y la diversidad de cultivos en la salud y productividad de los cultivos, así como del uso de los agentes de control biológicos en la regulación de plagas, han sido reiteradamente confirmados por investigaciones científicas. El problema es que la investigación en las instituciones públicas refleja cada vez más los intereses de los donantes privados, a expensas de la investigación en beneficio público tal como el control biológico, sistemas de producción orgánica y en general técnicas de agricultura ecológica. La sociedad civil debe exigir una respuesta de a quién deben servir la universidad y otras instituciones públicas y demandar mayor investigación en alternativas a la biotecnología. Hay también una necesidad urgente de cuestionar el sistema de patentes y de derechos de propiedad intelectual intrínseco a la OMC, el cual no solamente proporciona a las multinacionales el derecho de apropiarse y patentar los recursos genéticos, sino que también acelerará el ritmo al que las fuerzas del mercado promueven las prácticas del monocultivo con variedades transgénicas genéticamente uniformes.

Entre las diferentes recomendaciones para la acción que las ONG, las organizaciones campesinas y los grupos de ciudadanos deben promover en foros a nivel local, nacional e internacional, figuran:

1. Acabar con el financiamiento público de la investigación sobre cultivos transgénicos que promuevan el uso de agroquímicos y presenten riesgos medioambientales;
2. Los cultivos resistentes a herbicidas y otros cultivos transgénicos deben regularse de igual forma que los plaguicidas;
3. Etiquetar todos los cultivos transgénicos alimenticios como tales;

*Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos*

4. Aumentar los fondos para tecnologías agrícolas alternativas;
5. Buscar la sustentabilidad ecológica, las tecnologías alternativas de bajos insumos y atender las necesidades de los pequeños agricultores y así como la salud y nutrición humana;
6. Equilibrar las tendencias desatadas por la biotecnología, mediante políticas públicas y opciones de los consumidores en apoyo de la sostenibilidad;
7. Promover la medidas para la sustentabilidad y el uso múltiple de la biodiversidad a nivel de la comunidad, con énfasis en tecnologías que promuevan la autosuficiencia y el control local de los recursos económicos como medios para promover una distribución más justa de los beneficios.

# Capítulo 7

## CONTROL BIOLÓGICO EN AGROECOSISTEMAS MEDIANTE EL MANEJO DE INSECTOS ENTOMÓFAGOS

### INTRODUCCIÓN

Para finales del siglo xx, los investigadores agrícolas deberían haber aprendido una importante lección ecológica: las comunidades de plantas que han sido modificadas para satisfacer las necesidades especiales de alimento y fibra de los seres humanos son altamente susceptibles al daño ocasionado por plagas. En general, cuanto más ha sido modificada una comunidad vegetal, más abundantes y serias son las plagas (Altieri, 1994). Los monocultivos extensos compuestos generalmente de plantas genéticamente similares o idénticas y que han sido seleccionadas por su mayor palatabilidad, son altamente vulnerables a herbívoros adaptados (Price, 1981). Es más, prácticas agrícolas comúnmente usadas en el manejo de monocultivos (pesticidas, fertilizantes químicos, etc.), tienden a alterar a las poblaciones de enemigos naturales de los herbívoros, desencadenando así frecuentemente los problemas de plagas (Papavizas, 1981).

La estabilidad ecológica inherente y la autorregulación, características de los ecosistemas naturales, se pierden cuando el hombre simplifica las comunidades naturales a través de la ruptura del frágil tejido de las interacciones a nivel de comunidades. De todas formas, esta ruptura puede ser reparada restituyendo los elementos hemostáticos perdidos en la comunidad a través de la adición o el incremento de la biodiversidad funcional en los ecosistemas agrícolas. Una de las razones más importantes para restaurar y mantener la biodiversidad en la agricultura, es el que ésta presta una gran variedad de servicios ecológicos. Uno de estos servicios es la regulación de la abundancia de organismos indeseables a través de la depredación, el parasitismo y la competencia (Altieri, 1994). Probablemente cada población de insectos en la naturaleza es atacada en alguna medida por uno o más enemigos naturales. Así, depredadores, parasitoides y patógenos actúan como agentes de control natural que, cuando son adecuada-

### *Control biológico mediante insectos entomófagos*

mente manejados, pueden determinar la regulación de poblaciones de herbívoros en un agroecosistema particular. Esta regulación ha sido llamada control biológico y ha sido definida por DeBach (1964) como “la acción de parasitoides, depredadores o patógenos para mantener la densidad de la población de un organismo plaga a un promedio menor del que ocurriría en su ausencia.” Dependiendo de como se practique, el control biológico puede ser autosostenido y se diferencia de otras formas de control porque actúa dependiendo de la densidad de la población de plagas. De esta manera los enemigos naturales aumentan en intensidad y destruyen la mayor parte de la población de plagas en la medida que ésta aumenta en densidad, y viceversa (DeBach y Rosen, 1991).

En un sentido estrictamente ecológico, la aplicación del control biológico puede ser considerada como una estrategia válida para restaurar la biodiversidad funcional en ecosistemas agrícolas, al adicionar entomófagos “ausentes” mediante las técnicas clásicas o aumentativas de control biológico, o incrementando la ocurrencia natural de depredadores y parasitoides a través de la conservación y el manejo del hábitat. En este capítulo se discute el rol que juegan los depredadores y parasitoides en los agroecosistemas, y se analizan las diferentes estrategias usadas en control biológico para emplear insectos entomófagos en la regulación de poblaciones de plagas en la agricultura.

#### EL ROL E IMPACTO DE LOS DEPEDADORES

Los insectos depredadores se presentan en muchos órdenes, principalmente en los órdenes *Coleoptera*, *Odonata*, *Neuroptera*, *Hymenoptera*, *Diptera* y *Hemiptera*. Los insectos depredadores se alimentan en todos los estados de presa: huevos, larvas (o ninfas), pupas y adultos. Desde el punto de vista de los hábitos alimenticios existen dos tipos de depredadores, los masticadores (ej. Cochinitas, *Coccinellidae*) y escarabajos del suelo (*Carabidae*) los cuales simplemente mastican y devoran sus presas, y aquellos con aparatos bucales succionadores que chupan los jugos de sus presas (ej. chinches asesinos, *Reduviidae*), larvas de crysopa (*Chrysopidae*), larvas de las moscas (*Syrphidae*), etc. El tipo que se alimenta por medio de la succión generalmente inyecta una sustancia tóxica que rápidamente inmoviliza la presa. Muchos depredadores son ágiles, feroces cazadores, y activamente capturan sus presas en el suelo o en la vegetación como lo hacen los escarabajos, las larvas de crysopa y los ácaros, o los cazan en vuelo, como las libélulas y las moscas de la familia *Asilidae* (Huffaker y Menssenger, 1976).

Muchas especies son depredadores tanto en el estado larval como en el esta-

do adulto, aunque no necesariamente sea el mismo tipo de presa la que casen. Otros son depredadores solamente en el estado larval, mientras que como adultos tan sólo se alimentan de néctar, mielecilla, etc. Algunos proveen presas para sus larvas, depositando sus huevos entre sus presas, ya que en algunas ocasiones las larvas son incapaces de encontrarlas por si mismas (DeBach y Rossen, 1991).

La importancia de los depredadores en el control biológico natural ha sido evidenciada por la explosión de ácaros en muchos sistemas de cultivo, causada por la ola expansiva del uso de insecticidas químicos que elimina los depredadores de estos ácaros (Van den Bosch y Messenger, 1973). Este es el caso de los ácaros de la familia *Tetranychidae*, que se presentan en gran abundancia en huertos comerciales de manzanas debido a la eliminación de la población de depredadores por el uso de pesticidas y/o fertilizantes químicos que inducen un mayor vigor nutricional de los manzanales, estimulando el crecimiento de ácaros fitófagos (Croft, 1990).

La riqueza de especies depredadoras en agroecosistemas particulares puede ser impresionante. Por ejemplo, Whitcomb y Bell (1964) reportaron 602 especies de artrópodos depredadores en sistemas de algodón en Arkansas y cerca de 1,000 especies de depredadores en campos de soya en la Florida (Whitcomb, 1981). Este tipo de diversidad puede ejercer una importante presión reguladora sobre los herbívoros, lo que llevó a DeBach (1964) a considerar el “complejo de enemigos naturales de las plagas” como un elemento de balance natural al tender a alimentarse de cualquier plaga presente en abundancia. Aún en situaciones donde los depredadores son incapaces de alcanzar un control natural por debajo del nivel económico de daño, ellos disminuyen el grado de desarrollo de plagas o reducen la infestación, inclusive en situaciones donde los enemigos naturales específicos no sean efectivos. En campos de algodón del Valle de San Joaquín en California, los depredadores son mucho más importantes para el control de plagas de Lepidoptera (gusano bellotero, gusano enrollador del repollo, gusano soldado de la remolacha) que los parasitoides (van den Bosch y Messenger, 1973). En Canadá, los investigadores encontraron que en huertos de manzanas libres de insecticidas, cinco especies de depredadores de la familia Miridae ejercieron una mortalidad en huevos de la polilla de la manzana del 43.5-68.3%. En Maine (EUA), se encontró una correlación entre la depredación y la reducción de las poblaciones de áfidos en cultivos de papa (Croft, 1990).

Entre los depredadores más ignorados y menos entendidos se encuentran las arañas, las cuales pueden tener un tremendo efecto estabilizador en sus presas. Las arañas dependen de un complejo ensamble de presas. El resultado, es

una comunidad diversa de arañas que mantiene el control sobre una población de presas asociada sin llegar a extinguirla. De esta forma, las arañas funcionan como reguladores que limitan el crecimiento exponencial inicial de una población específica de presas (Riechert y Lockley, 1984). En Israel, la población de larvas de la plaga *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) no desarrolló niveles dañinos en huertos de manzanas con árboles ocupados por arañas, mientras se observó un daño significativo en árboles donde la población de arañas fue removida. Investigaciones posteriores revelaron que la actividad de las arañas fue responsable de un 98% en la reducción de la densidad larval. La reducción fue el resultado del consumo de presas por las arañas (64% de las larvas presentes) y el abandono por las larvas de las ramas ocupadas por arañas (34%). En la ausencia de arañas, las larvas abandonaban las ramas con una frecuencia de tan sólo 1.4%. En otro estudio, la presencia de especies de arañas de la familia *Linyphiidae* en parcelas experimentales determinó un daño significativamente menor en hojas causado por el gusano cortador *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) que el observado en parcelas en las que la población de arañas había sido removida. En este caso, el efecto depredador primario fue el causante del abandono por las larvas de los árboles ocupados por arañas (Riechert y Lockley, 1984).

En los sistemas agrícolas, los depredadores se pueden incrementar mediante liberaciones directas en los campos, como en el caso de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera Chrysopidae), varias especies de *Coccinellidae*, *Geocoris* (Hemiptera: Geocoridae), *Nabis* (Hemiptera: Nabidae), y ácaros *Phytoseiidae*, o proporcionando alimento suplementario (soluciones azucaradas, polen, productos a base de levadura, etc.) para retener o atraer especies de depredadores específicos a los campos de cultivo (Huffaker y Messenger, 1976). Otra alternativa para incrementar los recursos y las oportunidades ambientales para los depredadores, es a través de diseños complejos de cultivos tanto en el tiempo como en el espacio (Altieri, 1994).

#### PARASITOIDES: CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS, SU ROL E IMPACTO

La mayoría de los insectos que parasitan a otros insectos son parasitoides. Por ejemplo, son parasitoides solamente en su estado inmaduro (larval) y llevan una vida libre en su estado adulto. Usualmente consumen todo o casi todo el cuerpo de su huésped y luego pupan, ya sea al interior o al exterior del huésped. Los parasitoides pueden clasificarse como *Koinobiontes* o *idiobiontes* dependiendo del lugar donde éstos se desarrollen: dentro del huésped vivo, en huésped-

des móviles o dentro de huéspedes muertos o paralizados. El parasitoide adulto emerge de la pupa y se inicia así la próxima generación buscando activamente nuevos huéspedes en los cuales depositar sus huevos. La mayoría de los parasitoides adultos requieren de alimento suplementario tales como miel, polen o néctar. Muchos se alimentan de los fluidos del cuerpo de sus huéspedes, como ya mencionamos anteriormente. Otros como adultos requieren sólo de agua (DeBach y Rossen, 1991).

Los parasitoides se pueden categorizar como ectoparasitoides, los cuales se alimentan externamente de sus huéspedes, y como endoparasitoides, los cuales se alimentan internamente. Los parasitoides pueden tener una generación (univoltinos) por una generación del huésped, o dos o más generaciones (multivoltinos) por cada una de los huéspedes. El ciclo de vida de los parasitoides es usualmente corto, algunos alcanzan desde 10 días hasta 4 semanas aproximadamente a mediados del verano, pero correspondientemente son más largos en clima frío. Los principales grupos de parasitoides utilizados en el control biológico de plagas de insectos pertenecen a los ordenes: *Hymenoptera* (la mayoría avispas de las superfamilias *Chalcidoidea*, *Ichneumonoidea* y *Proctotrupoidea*) y *Diptera* (moscas, especialmente de la familia *Tachinidae*).

Las investigaciones sobre la diversidad de parasitoides del orden *Hymenoptera* en agroecosistemas, se han concentrado principalmente en el estudio de los complejos de parasitoides que atacan especies de plagas nativas en particular, así como especies exóticas. Algunas especies de plagas soportan un gran número de especies de parasitoides tales como: la plaga del trigo *Mayetiola destructor* (*Diptera*: *Cecidomyiidae*), la plaga del tallo de pastos y trigo *Cephus pygmaeus* (*Hymenoptera*: *Cephidae*), el curculionido del coco *Promecotheca caeruleipennis* (*Coleoptera*: *Curculionidae*), *Pontania proxima* (*Hymenoptera*: *Tenthredinidae*) en frijol, y el minador de la hoja del café *Perileucoptera coffeella* (*Lepidoptera*: *Lyonetiidae*). Diferentes cultivos soportan especies particulares de herbívoros, quienes a su vez, son atacados por una o muchas especies de parasitoides (**Tabla 1**). Sin embargo, esta asociación puede cambiar dependiendo de la ubicación geográfica, intensidad del manejo agrícola y los arreglos espaciales y temporales de cultivos (Waage y Greathead, 1986).

La complejidad de la comunidad de parasitoides del orden *Hymenoptera*, asociados con diferentes sistemas de cultivo está determinada por factores biológicos, ambientales y de manejo. En monocultivos de gran escala, la diversidad es eliminada por el uso continuo de pesticidas, la simplificación de la vegetación y otros disturbios del medio ambiente. En agroecosistemas menos alterados, además de la ausencia de pesticidas, la diversidad de parasitoides parece



**Tabla 1. Complejos de especies de parasitoides asociados con insectos plaga en un rango de cultivos anuales**

Sistema de cultivo	Especie plaga	Núm. de especies de parasitoides	Localidad
Algodón	<i>Spodoptera exigua</i>	11	California, EUA
	<i>Trichoplusia ni</i>	11	California, EUA
	<i>Heliothis zea</i>	14	California, EUA
	<i>Bucculatrix thurberiella</i>	3	California, EUA
	<i>Estigmene acrea</i>	3	California, EUA
	<i>Spodoptera praefica</i>	13	California, EUA
Sorgo	<i>Schizaphis graminum</i>	3	EUA
Yuca	<i>Erynnys ello</i>	4	Brasil, Colombia
	<i>Jatrophia brasiliensis</i>	4	Islas del Caribe
	<i>Saissetia</i> sp.	2	Perú, Cuba
Soya	<i>Plathypena scabra</i>	14	Missouri, EUA
	<i>Pseudoplusia scudens</i>	12	Louisiana, EUA
Papa	<i>Myzus persicae</i>	7	Maine, EUA
	<i>Acyrtosiphon solani</i>	5	Maine, EUA
	<i>Aphis nasturii</i>	5	Maine, EUA
Arroz	<i>Nephotetix</i> spp.	3	Filipinas
	<i>Chilo suppressalis</i>	3	Filipinas
Alfalfa	<i>Colias eurytheme</i>	2	California, EUA
	<i>Spodoptera exigua</i>	11	California, EUA
	<i>Sopodptera (= Prodenia) praefica</i>	13	California, EUA
	<i>Heliothis zea</i>	13	California, EUA
Tabaco	<i>Heliothis virescens</i>	2	Carolina del Norte, EUA

relacionarse con la diversidad de los cultivos, la cobertura del suelo, la presencia de malezas y la vegetación nativa adyacente a los cultivos. De hecho, los pocos estudios conducidos sobre este tópico indican que la vegetación asociada con un cultivo en particular, influye en el tipo, abundancia y tiempo de coloni-

zación de los parasitoides (Waage y Greathead, 1986).

En muchos casos, tan sólo una o dos especies de tales complejos prueban ser vitales en el control biológico natural de plagas claves. Por ejemplo en los cultivos de alfalfa en California la avispa *Apanteles medicaginis* (Hymenoptera: Braconidae) cumple una función vital en la regulación del número de larvas de *Colias eurytheme* (Lepidoptera: Pieridae). Aparentemente, este sistema mariposa-avispa se mueve de los tréboles nativos a los cultivos artificiales de alfalfa nuevos e irrigados. Igualmente, en los cultivos de tabaco de Carolina del Norte al comienzo del verano, previo al florecimiento, cuando las plantas están más susceptibles al daño causado por el gusano cogollero *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae), la avispa *Campoletis perdinctus* (Hymenoptera: Ichneumonidae) ejerce un alto grado de parasitismo, después del florecimiento del tabaco. Con el tiempo, el parasitismo de *C. perdinctus* declina y la acción de otro parasitoide *Cardiochiles nigriceps* (Hymenoptera: Braconidae) se vuelve un importante factor de mortalidad para la plaga (Huffaker y Messenger, 1976). En otros casos, es una combinación de muchas especies de parasitoides la que ejerce la regulación sobre una plaga específica de insectos (Ehler y Miller, 1978).

#### ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO

##### *Control biológico clásico*

El control biológico clásico es la regulación de la población de una plaga mediante enemigos naturales exóticos (parásitos, depredadores o patógenos) que son importados con este fin. Usualmente, la plaga clave es una especie exótica que ha alcanzado una alta densidad poblacional en el nuevo ambiente, debido a condiciones más favorables que en su lugar de origen (Rosen, Bennett y Capinera, 1994). Por lo tanto, la introducción de un enemigo natural específico, autorreproductivo, dependiente de la densidad, con alta capacidad de búsqueda y adaptado a la plaga exótica introducida, usualmente resulta en un control permanente (Caltagirone, 1981).

Frecuentemente, debido a que los agentes de control biológico son cuidadosamente seleccionados para que se adapten mejor a sus huéspedes, éstos se diseminan espontáneamente a través de todo el rango de sus hospederos, para realizar un control biológico efectivo a un costo relativamente bajo. Caltagirone (1981) describe 12 casos exitosos de proyectos de control biológico clásico en los cuales, por medio de la introducción de enemigos naturales, las especies plaga tratadas fueron reducidas a un nivel en el cual no se consideran plaga

*Control biológico mediante insectos entomófagos*

(**Tabla 2**). Otros estudios de caso en los cuales se describen las diferentes etapas (descubrimiento, introducción y evaluación) necesarias para el desarrollo de un programa de control biológico clásico, son descritos en Van Driesche y Bellows (1996).

Desde el exitoso control biológico de la escama algodonosa de los cítricos *Icerya purchasi* (Homoptera: Margarodidae) en California con la cochinita, *Rodolia cardinalis* (Coleoptera: Coccinellidae) importada desde Australia en 1888, cientos de proyectos de control biológico se han llevado a cabo alrededor

**Tabla 2. Ejemplos exitosos de control biológico clásico** (Caltagirone, 1999)

<b>Plaga exótica</b>	<b>Enemigo natural introducido</b>	<b>Sistema de cultivo</b>
<i>Tetranychus urticae</i> (arañita de dos manchas)	<i>Phytoseiulus persimilis</i> (predador)	Invernadero
<i>Trialeurodes vaporariorum</i> (mosca blanca de los invernaderos)	<i>Encarsia formosa</i> (parásito)	Invernadero
<i>Nezara viridura</i>	<i>Trissolcus basalus</i> (parásito)	Vegetales, cultivos del campo
<i>Aleurocanthus woglumi</i>	<i>Eretmocerus serius</i>	Cítricos
<i>Terioaphis trifolii</i> (pulgón de la alfalfa)	<i>Praun exsoletum</i> <i>Tryoxis complanatus</i> y <i>Aphelinus aschys</i> (parásitos)	Alfalfa Alfalfa
<i>Chromaphis juglandicola</i> (pulgón de los nogales)	<i>Tryoxis pallidus</i> (parásito)	Nogales
<i>Aonidiella aurantii</i> (escama roja de California)	<i>Aphytis</i> spp. (parásitos)	Cítricos
<i>Parlatoria oleae</i> (escama del olivo)	<i>Aphytis maluricornis</i> y <i>Coccophagoides utilis</i> (parásitos)	Olivos
<i>Quadrastpidioutus perniciosus</i> (escama de San José)	<i>Prospaltella perniciosi</i>	Frutales
<i>Antonina graminis</i>	<i>Anagyrus antoninae</i> (parásito)	Pastos
<i>Operophtera brumata</i>	<i>Cyzenis albicans</i> y <i>Agrypon flaveolatum</i> (parásitos)	Manzanos
<i>Oryctes rhinoceros</i>	<i>Rabdionvirus oryctes</i> (baculovirus)	Palma de coco y aceite

### *Control biológico mediante insectos entomófagos*

del mundo. La campaña de control biológico realizada para controlar la escama negra de los cítricos *Saissetia oleae* (Homoptera: Coccidae) en California, incluyó cerca de 42 especies diferentes de enemigos naturales introducidos de Africa, México, Pakistan, China, Brazil, Argentina y Taiwan (Luck, 1981). De todos los esfuerzos de importación de enemigos naturales realizados en los Estados Unidos, se ha estimado que cerca de 128 especies de enemigos naturales han resultado en algún grado del control biológico (Luck, 1981). Los ahorros económicos de tales introducciones han sido substanciales. Se ha estimado que la combinación de ahorros atribuidos a la industria agrícola de California desde el inicio de los programas de control biológico entre 1928 y 1979 fue de cerca de 320 millones de dólares, sin considerar la inflación (van den Bosh, Messenger y Gutiérrez, 1982).

Por definición, todos los proyectos de control biológico clásico involucran la introducción de enemigos naturales exóticos. En la mayoría de los casos, se conduce una exploración en la presunta área de origen de la especie a tratar. Después de que la exploración ha sido realizada, los insectos entomófagos deben ser introducidos al país donde se encuentra la plaga, donde son sujetos a cuarentena. Luego de la cuarentena, la mayoría de los enemigos naturales son criados masivamente para garantizar la liberación de un número considerable de ellos en los lugares particulares de colonización en diversos ambientes de una región, seguido por repetidas colonizaciones a lo largo del tiempo si es necesario (Van den Bosch y Messenger 1973). Los registros históricos indican que solamente el 34% de los intentos de colonización de enemigos naturales se han realizado exitosamente. Estas bajas tasas de establecimiento pueden deberse a factores tales como una inapropiada selección de enemigos naturales, las diferencias en el clima entre el lugar de origen de los enemigos naturales y el lugar de su liberación, algunas características negativas del cultivo y del agroecosistema. Una vez que el establecimiento del enemigo natural es documentado, el efecto de la regulación de éstos en la población de la plaga necesita ser evaluado incluyendo un análisis económico del costo y de los beneficios sociales involucrados.

### *Control biológico aumentativo*

Esta estrategia requiere la propagación masiva y la liberación periódica de enemigos naturales, exóticos o nativos, que puedan multiplicarse durante la estación de crecimiento del cultivo pero que no se espera que se conviertan en una parte permanente del ecosistema (Batra, 1982). La liberación aumentativa pue-

de realizarse con expectativas de corto o largo plazo, dependiendo de la especie de plaga a tratar, las especies de enemigos naturales y el cultivo. La cría masiva y la liberación de los enemigos naturales fue un método muy popular en la ex Unión Soviética y en China donde la estructura socioeconómica, incluyendo la colectivización de la agricultura, la integración de la investigación y la producción, además de una fuerza de trabajo numerosa y bien organizada, permitieron exitosamente la cría masiva y la amplia liberación aumentativa de agentes de control biológico. Los recientes cambios políticos y socioeconómicos que abrazan el modelo capitalista de producción han generado cambios drásticos en este escenario en esas regiones. Desde el colapso del bloque soviético en 1989, Cuba es el único país que está experimentando un crecimiento masivo de la técnica de control biológico aumentativo. La isla ha sufrido una reducción del 80% en la importación de fertilizantes y pesticidas, y para garantizar la seguridad alimenticia bajo estas circunstancias, investigadores y agricultores han impulsado proyectos masivos de control biológico. Para finales de 1994, unos 222 centros de producción de insectos entomopatógenos y entomófagos (CREEs) han sido creados (Rosset y Benjamin, 1993). En dichos centros se producen cantidades masivas de avispas parasitoides del género *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), y algunos entomopatógenos tales como: *Beauveria bassiana* (78 toneladas métricas) *Bacillus thuringiensis* (1,312 toneladas), *Verticillium lecanii* (196 toneladas) y *Metarhizium anisopliae* (142 toneladas) para el control de varias plagas en los principales cultivos de la isla (**Tabla 3**).

En los Estados Unidos, el éxito del control biológico aumentativo depende del número total de individuos liberados (Ables y Ridgeway, 1981). Entre los agentes biológicos más comunes, comercialmente disponibles para ser utilizados son: *Trichogramma* spp., *Chrysoperla carnea*, y algunos patógenos de insectos tales como *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus popillae*, *Beauveria bassiana* y varios virus de la poliedrosis nuclear. Existen una gran cantidad de enemigos naturales potenciales para el control biológico aumentativo de *Heliothis* spp. en numerosos cultivos. Algunos ejemplos incluyen *Cardiochiles carnea* (Hymenoptera: Braconidae), *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) y *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Además, áfidos que atacan muchos cultivos presentan un amplio rango de parasitismo por *Praon* spp., *Lysiphlebus* spp., *Aphidius* spp., *Diaeretiella* spp. (Hymenoptera: Aphidiidae) y otros, los cuales pueden ser criados y liberados masivamente (Huffaker y Messenger, 1976). Ejemplos seleccionados de entomófagos con potencial para control bio-

**Tabla 3. Organismos biológicos para el control de insectos plaga en Cuba** (Rosset y Benjamín, 1993)

Organismos	Cultivo	Plaga
<i>Bacillus turingiensis</i>	Col Tomate Pimentón	<i>Pieris</i> sp. <i>Heliothis</i> sp. <i>Spodoptera</i> sp.
<i>Bacillus turingiensis</i>	Yuca	<i>Erynnis</i> sp.
<i>Beauveria bassiana</i>	Banano Batata Arroz, cítricos	<i>Cosmopolites soordidus</i> Curculionidae (picudos)
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Pastos Arroz Cítricos	Cercopidae (salivitas) Curculionidae
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Guayaba Café Banana	<i>Tryoxis complanatus</i> <i>Meloidogyne</i> sp. <i>Meloidogyne</i> sp. Nemátodos: <i>Radopholus similis</i>
<i>Verticillium lecani</i>	Tomate Pimentón Pepino Calabaza Papa Frijol	Mosca blanca Mosca blanca Mosca blanca  Mosca blanca Mosca blanca
<i>Trichogramma</i> sp.	Pastos Yuca	<i>Mocis</i> sp. <i>Erynnis</i> sp.
<i>Trichogramma</i> sp.	Caña de azúcar	Barrenador de la caña
<i>Pheidole megacephala</i> (hormiga)	Batata	Picudos

lógico aumentativo en los Estados Unidos se listan en la **Tabla 4** (Ables y Ridgeway, 1981).

En algodón, las investigaciones han demostrado que de 50.000 a 100.000 *Trichogramma* spp. por acre deben ser liberados con un intervalo de 2-5 días durante el máximo período de oviposición de *Heliothis* spp., para incrementar

Control biológico mediante insectos entomófagos

**Tabla 4. Algunos enemigos naturales con potencial para el control biológico aumentativo en EUA (Ables y Ridgeway, 1981).**

<b>Enemigo natural candidato para la aumentación</b>	<b>Plaga</b>	<b>Cultivo</b>
<b>ACARI</b>		
<i>Typhlodromus</i> spp.	<i>Tetranychus medanieli</i>	Manzanos
<i>Phytoseiulus</i> spp.	<i>Steneotarsonemus pallidus</i>	Fresas
	<i>Tetranychus urticae</i>	Fresas
	<i>Tetranychus</i> spp.	Cultivos de invernadero
<b>HEMIPTERA</b>		
<i>Jalysus spinosus</i>	<i>Heliothis virescens</i>	Tabaco
	<i>Manduca</i> spp.	
<b>NEUROPTERA</b>		
<i>Chrysopa carnea</i>	<i>Heliothis</i> spp.	Cultivos para fibra y alimento
	<i>Pseudococcus</i> spp.	Peras, otras frutas
	<i>Trichoplusia ni</i>	Repollo
	Pulgones	Papas
<b>COLEOPTERA</b>		
<i>Stethorus picipes</i>	<i>Oligonychus punicae</i>	Aguacate, otras frutas y vegetales
<i>Coccinella</i> spp.	Pulgones	Vegatales, frutas y nueces
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Chanchito blanco	Cítricos
<b>HYMENOPTERA</b>		
<i>Bracon kirkpatricki</i>	<i>Pectinophora gossypiella</i>	Algodón
<i>Bracon mellitor</i>	<i>Anthonomus grandis</i>	Algodón
<i>Macrocentrus anclivorus</i>	<i>Grapholitha molesta</i>	Duraznos
<i>Chelonus blackburni</i>	<i>P. gossypiella</i>	Algodón
<i>Apanteles melanoscclus</i>	<i>Lymantria dispar</i>	Forestales
<i>Apanteles rebecca</i>	<i>Pieris rapae</i>	Repollo
<i>Microplitis croceipes</i>	<i>Heliothis</i> spp.	Numerosos cultivos
<i>Campoletis sonorensis</i>	<i>Heliothis</i> spp.	Numerosos cultivos
<i>Praon</i> spp.	Pulgones	Numerosos cultivos
<i>Lysiphlebus</i> spp.	Pulgones	Numerosos cultivos
<i>Aphidius smithi</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Arveja y otros vegetales
<i>Diaeretiella</i> spp.	Pulgones	Col
<i>Aphytis melinus</i>	Escama roja de California	Cítricos
<i>Encarsia formosa</i>	Mosca blanca	Cultivos de invernadero
<i>Pediobius foveolatus</i>	<i>Epilachna</i> spp.	Soya, legumbres, calabaza
<i>Trichogramma</i> spp.	<i>Heliothis</i> spp.	Cultivos para fibra y alimento
	<i>Pieris</i> spp.	Col
	<i>Manduca</i> spp.	Tabaco y tomates
	<i>Ostrinia nubilalis</i>	Maíz
	<i>Laspeyresia pomonella</i>	Manzanos, otras frutas
<b>DIPTERA</b>		
<i>Lixophaga diatraeae</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Caña de azúcar
<i>Eucelatoria</i> spp.	<i>Heliothis</i> spp.	Numerosos cultivos
<i>Voria ruralis</i>	<i>Trichoplusia ni</i>	Col, otros cultivos

significativamente el parasitismo y obtener el máximo control. Otros trabajos indican que liberaciones de más de 28,000 *Lysiphlebus testaceipes* por acre no disminuyeron las poblaciones de áfidos por debajo del umbral económico bajo condiciones de monocultivos en las planicies altas de Texas. Por otro lado, estudios recientes con semioquímicos (ej. kairomonas) demostraron la gran posibilidad de incrementar la respuesta y eficacia de muchos parasitoides bajo condiciones de monocultivos (Nordland, Jones y Lewis, 1981). La gran utilidad de las kairomonas parece deberse a su efecto sobre la agregación y retención de los parásitos liberados en lugares específicos (Hoy y Herzog, 1985).

El control aumentativo puede ser muy económico. Muchas empresas están comercializando un gran número de avispas parasitoides, el depredador de áfidos *Chrysoperla carnea*, y entomopatógenos tales como *Bacillus thuringiensis*, *B. popilliae*, *Beauveria bassiana*, y muchos virus de la poliedrosis nuclear. En la década de los años 80, los costos de los tratamientos fluctuaron aproximadamente de entre \$24.70 y \$29.60 dólares por hectárea en huertos de cítricos o manzanas y de \$133 y \$2.398 dólares por hectárea en invernaderos (Batra, 1982). Hoy en día los precios son más competitivos.

#### Conservación y manejo del hábitat

Este enfoque pone énfasis en el manejo de agroecosistemas con el objetivo de proveer un ambiente general que conduzca a la conservación y fomento de una biota compleja de enemigos naturales. Las posibilidades de incrementar las poblaciones de artrópodos benéficos y de mejorar su efectividad son innumerables a través del manejo del hábitat, que a su vez media la disponibilidad de alimentos, refugio y otros recursos dentro y fuera del cultivo (Huffaker y Messenger, 1976). Pequeños cambios en las prácticas agrícolas pueden causar un incremento substancial en la población de enemigos naturales durante el período crítico de crecimiento de los cultivos. Algunas prácticas pueden simplemente incluir la eliminación del uso de pesticidas químicos o evitar prácticas disturbadoras tales como el control de malezas con herbicidas y el arado. Con la eliminación total de pesticidas se puede restituir la diversidad biológica y conducir a un control biológico efectivo de plagas específicas. En Costa Rica, en el transcurso de dos años, virtualmente todos los insectos plagas del banano alcanzaron niveles por debajo del umbral económico, dado el incremento en el parasitismo y la depredación por parte de algunos enemigos naturales, luego del abandono de los insecticidas Dieldrin y Carbaryl. En forma similar en nogales de California, el control biológico natural de dos especies de escamas se logró



rápidamente a través de la introducción de algunos parasitoides de la familia *Encyrtidae* después de la eliminación total del uso del DDT (Croft, 1990).

Algunas veces es necesario proveer recursos suplementarios. Por ejemplo, la construcción de nidos artificiales para la *Polistes annularis* (Hymenoptera: Vespidae) ha incrementado la depredación de plagas tales como *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) en algodón y *Mundaca sexta* (Lepidoptera: Sphingidae) en el tabaco. La aspersión de alimentos suplementarios (mezclas de levadura, azúcar y agua) multiplicó seis veces la oviposición de *Chrysoperla carnea* e incrementó la abundancia de *Syrphidae*, *Coccinellidae* y *Malachiidae* en parcelas de algodón y alfalfa. Para mejorar la supervivencia y reproducción de insectos benéficos en un agroecosistema, es conveniente tener permanentemente poblaciones alternativas de presas fluctuantes a niveles subeconómicos presentes en los cultivos (van den Bosch y Messenger, 1976). Por ejemplo, en Sudáfrica la abundancia relativa de áfidos en repollos, fue un factor determinante en la efectividad de los depredadores contra larvas de *Plutella maculipennis* (Lepidoptera:Plutellidae). La introducción de poblaciones de huéspedes garantizó una gran efectividad en el control de *Pieris rapae* (Lepidoptera:Pieridae) en el campo. La continua liberación de mariposas *Pieris* fértiles incrementó la población de la plaga cerca de diez veces por encima de la población normal en la primavera, permitiendo a los parásitos *Trichogramma evanescens* y *Cotesia rubecula* incrementarse tempranamente y mantenerse a un nivel efectivo durante la estación de crecimiento del cultivo (van den Bosch y Messenger 1973).

Es ampliamente aceptado que la diversidad del agroecosistema esta asociada con la estabilidad de las poblaciones de insectos presentes a largo plazo, presumiblemente porque un variedad de parásitos, depredadores y competidores está siempre disponible para suprimir el crecimiento de la población potencial de especies de plagas. La dispersión de cultivos entre otras plantas no hospederas, puede hacer más difícil la migración y la búsqueda de plantas hospederas y consecuentemente afectar el crecimiento exponencial de fitófagos o patógenos (Andow, 1991). La diversificación de agroecosistemas generalmente resulta en el incremento de oportunidades ambientales para los enemigos naturales, y consecuentemente, en el mejoramiento del control biológico de plagas. La amplia variedad de diseños vegetacionales disponibles en forma de policultivos, sistemas diversificados de cultivos-malezas, cultivos de cobertura y mulches vivos, y su efecto sobre la población de plagas y enemigos naturales asociados han sido extensivamente revisados (Altieri, 1994 y referencias ahí incluidas). Algunos factores relacionados con la regulación de plagas en agroecosistemas diversificados incluyen: el incremento de la población de parasitoides

y depredadores, la disponibilidad de huéspedes y/o presas para los enemigos naturales, la disminución en la colonización y reproducción de las plagas, la inhibición de la alimentación mediante repelentes químicos de plantas no atractivas a las plagas, la prevención del movimiento y aumento de emigración de plagas, y la óptima sincronización entre enemigos naturales y plagas.

Estudios realizados han mostrado que a través del aumento de la diversidad de plantas en monocultivos anuales, es posible efectuar cambios en la diversidad del hábitat, lo que a su vez favorece la abundancia y efectividad de los enemigos naturales. Esta información puede ser usada para diseñar sistemas de cultivos combinados que incrementen la diversidad y la abundancia de depredadores y parásitos, resultando así en niveles de plagas más bajos que en los monocultivos correspondientes. En general, está bien documentado que en agroecosistemas de policultivos hay un incremento en la abundancia de artrópodos depredadores y parasitoides ocasionado por la expansión en la disponibilidad de presas alternativas, fuentes de néctar y micro hábitats apropiados (Altieri, 1994). En la **Tabla 5** se presentan varios ejemplos de reducción de poblaciones de plagas observadas en policultivos.

Al incrementar la diversidad de plantas dentro del campo se puede facilitar el control biológico. Varios trabajos realizados en la ex Unión Soviética indican que el uso de plantas productoras de néctar en huertos de frutales, eran un recurso alimenticio importante para incrementar la efectividad de insectos entomófagos. Experimentos de campo en el norte del Cáucaso, demostraron que la siembra de *Phacelia spp.* en los huertos incrementaba el parasitismo de *Quadraspidiotus perniciosus* por su parasitoide *Aphytis proclia* (Hymenoptera:Aphidiidae). Tres siembras sucesivas de flores de *Phacelia* en estos campos, incrementaron el parasitismo en alrededor de un 70%. Estas mismas plantas han mostrado además, un incremento en la abundancia de *Aphelinus mali* (Hymenoptera:Aphelinidae) para el control de los áfidos de la manzana, y una marcada actividad del parásito *Trichogramma spp.* en el mismo cultivo (van den Bosch y Telford, 1964).

La manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo puede también ser usada para promover el control biológico, ya que la supervivencia y actividad de muchos enemigos naturales frecuentemente depende de los recursos ofrecidos por la vegetación contigua al campo. Los cercos vivos, linderos y otros aspectos del paisaje han recibido gran atención en Europa debido a sus efectos en la distribución y abundancia de artrópodos en las áreas adyacentes a los cultivos (Fry, 1995). En general se reconoce la importancia de la

**Tabla 5. Ejemplos de sistemas de cultivos múltiples que previenen la explosión de plagas mediante el incremento de enemigos naturales (Altieri, 1994).**

<b>Sistema de cultivo</b>	<b>Plagas reguladas</b>	<b>Factores involucrados</b>
Brassica y frijol	<i>Brevicoryne brassicae</i> y <i>Delia brassicae</i>	Depredación alta e interrupción del comportamiento de oviposición
Bruselas intercaladas con habas y mostaza	<i>Phyllotreta cruciferae</i> y áfidos de la col <i>Brevicoryne brassicae</i>	Reducción de la apariencia de planta, actuando como cultivo trampa e incrementando así el control biológico
Coles intercaladas con trébol rojo	<i>Erioischia brassicae</i> , <i>Pieris rapae</i>	Interferencia en la colonización y el incremento de carámbidos en el suelo
Yuca intercalada con caupí	Moscas blancas, <i>Aleurotrachelus socialis</i> y <i>Trialeurodes variabilis</i>	Cambios en el vigor de la planta e incremento en la abundancia de enemigos naturales
Maíz intercalado con habas y calabaza	Pulgones, <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Macroductylus</i> sp.	Incremento en la abundancia de depredadores
Maíz intercalado con batata	<i>Diabrotica</i> sp. y cicadélicos <i>Agallia lingula</i>	Incremento del parasitismo
Algodón intercalado con caupí forrajero	Picudo <i>Anthonomus grandis</i>	Incremento en la población del parásito <i>Erytoma</i> sp.
Franjas de cultivo de algodón y alfalfa	Chinches <i>Lygus hesperus</i> y <i>L. lisus</i>	Prevención de la emigración y sincronización entre plagas y los enemigos naturales
Duraznos intercalados con fresas	Enrollador de la hoja de la fresa <i>Ancylis comptana</i> y la polilla <i>Grapholita molesta</i>	Incremento en la población de parásitos, <i>Macrocentrus ancytivora</i> , <i>Microbracon gelechise</i> y <i>Lixiphaga variabilis</i>
Maní intercalado con maíz	Barrenador del maíz <i>Ostrinia furnacalis</i>	Abundancia de arañas, <i>Lycosa</i> sp.
Sésamo intercalado con algodón	<i>Heliothis</i> sp.	Incremento en la abundancia de insectos benéficos y cultivos trampa

vegetación natural alrededor de los campos de cultivo como reservorio de enemigos naturales de plagas (van Emden, 1965). Estos hábitat pueden ser importantes como sitios alternos para la iveración de algunos enemigos naturales, o como áreas con recursos alimenticios tales como polen o néctar para parásitos y depredadores. Muchos estudios han documentado el movimiento de enemigos naturales desde márgenes adentro de cultivos, demostrando un mayor nivel de control biológico en hileras de cultivo adyacentes a márgenes de vegetación natural que en hileras en el centro del cultivo (Altieri, 1994). Estudios de los parásitos *Tachinidae* e *Ichneumonidae* atacando *Barathra brassicae* y *Plutella xylostella* fueron conducidos cerca de Moscú y los datos muestran que la eficiencia del parasitismo fue substancialmente mayor en hileras de repollo cercanas a márgenes con plantas en floración de la familia Umbelifera (Huffaker y Messenger, 1976).

En California, se ha observado que el parásito de huevos *Anagrus epos* (Hymenoptera:Mymaridae) es efectivo en el control del cicadelido de la uva *Erythroneura elegantula* (Homoptera:Cicadellidae) en viñedos adyacentes a moras silvestres, puesto que éstas albergan otro cicadelido *Dikrella cruentata* que no es considerado plaga, pero que sus huevos sirven en el invierno como el único recurso alimenticio para el parásito *Anagrus*. Estudios recientes han mostrado además, que los árboles de ciruelos plantados alrededor de los viñedos pueden incrementar la población de *Anagrus epos* y promover el parasitismo temprano en la estación (Flint y Roberts, 1988). También en California en el valle de San Joaquín, el parasitismo del gusano de la alfalfa, *Colias eurytheme*, por *Apanteles medicaginis* fue mucho mayor en secciones del campo donde las malezas se encontraban en floración junto a los canales de irrigación en contraste con áreas del cultivo donde la maleza fue destruida (DeBach 1964).

En huertos de manzanas en Noruega, la densidad de la plaga más importante, *Argyresthia conjugella* (Lepidoptera:Argyresthiidae) depende de la cantidad de alimento silvestre disponible, por ejemplo, el número de grosellas del arbus-to silvestre *Sorbus acuparia* que crecen cada año. Debido a que una larva se desarrolla dentro de una grosella, el número de *Argyresthia* no puede ser mayor que el número total de grosellas. Así en los años en los que *Sorbus* no produce grosellas, ninguna larva de la plaga *Argyresthia* se desarrolla y por consiguiente el parásito *Microgaster politus* (Hymenoptera: Braconidae) no se presenta en el área. Entomólogos han sugerido plantar *Sorbus*, para producir cada año una cosecha abundante y regular de frutas, lo cual permitiría a *Argyresthia* encontrar suficiente alimento para mantener su población a un nivel razonablemente elevado. Bajo estas condiciones el parásito *Microgaster* y otros enemigos natu-

### *Control biológico mediante insectos entomófagos*

rales podrán también mantenerse y reproducirse suficientemente cada año, y mantener así a la población de *Argyresthia* por debajo del nivel en el cual la plaga esta forzada a emigrar, evitando de esta manera la infestación de las manzanas (Edland, 1995).

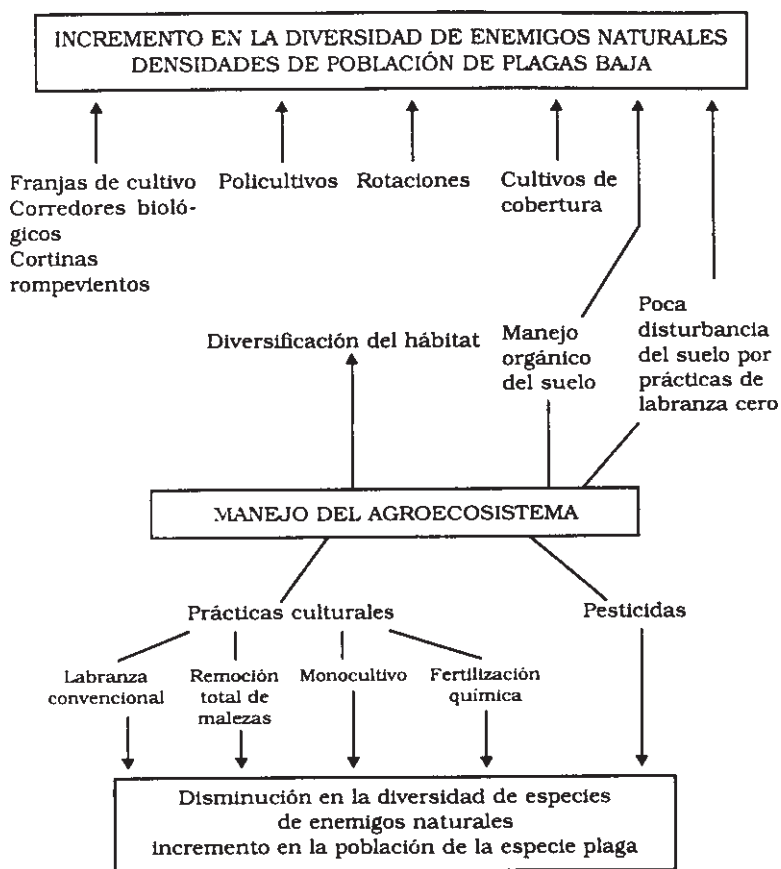
### CONCLUSIONES

El Control biológico por medio de la importación, incremento y/o conservación de los enemigos naturales puede conllevar a una regulación de especies de plagas a largo plazo, asumiendo que se dé un apropiado manejo cultural de los agroecosistemas (descartando prácticas agrícolas destructivas e incrementando la diversificación de los sistemas de cultivo), garantizando así un ambiente apropiado para incrementar la abundancia y la eficiencia de depredadores y parásitos. Bajo estas condiciones, el control biológico puede convertirse en una estrategia potencialmente auto-perpetuante, garantizando un control a bajo costo y con mínimo o inexistente impacto ambiental (Flint y Roberts, 1989).

La agricultura comercial a gran escala que involucra monocultivos con problemas complejos de plagas, requiere inicialmente la integración de métodos de control químico y cultural en asociación con el uso cuidadoso de enemigos naturales. Para convertir estos sistemas en sistemas totalmente dependientes del control biológico, se requerirá de un proceso escalonado de conversión agroecológica que incluye: el uso eficiente de pesticidas (MIP-Manejo Integrado de Plagas), sustitución de insumos (el remplazo de insecticidas químicos por insecticidas botánicos o microbiológicos), finalizando con el rediseño del sistema agrícola diversificado, el cual debe proveer las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de enemigos naturales, permitiendo así al agroecosistema auspiciar su propia protección natural contra plagas (Altieri 1994).

Sistemas de cultivo diversificados, tales como aquellos basados en policultivos, agroforestería o uso de cultivos de cobertura en huertos de frutales, han sido el tópico principal de muchas investigaciones recientes. Esto se relaciona con la amplia evidencia que ha emergido últimamente, de que estos sistemas de cultivo son más sustentables y conservan más los recursos naturales (Vandermeer, 1995). Muchos de estos atributos de sustentabilidad se asocian con niveles altos de biodiversidad funcional (incluyendo enemigos naturales) inherentes a los sistemas complejos de cultivo. La clave es identificar el tipo de biodiversidad que es deseable para mantener o incrementar de manera de auspiciar los servi-

cios ecológicos deseados y determinar así las mejores prácticas que podrían implementarse para incrementar los componentes deseables de biodiversidad. Como se muestra en la **Figura 1**, son muchas las prácticas y los diseños que tienen un gran potencial para incrementar o afectar negativamente la biodiversidad funcional. La idea es implementar un manejo eficaz de las prácticas agrícolas con el objeto de incrementar y/o regenerar el tipo de biodiversidad que puede subsidiar la sustentabilidad de los agroecosistemas a través del mejoramiento de la eficacia del control biológico de plagas.



**Figura 1.** Efectos del manejo del agroecosistema y prácticas culturales asociadas con la diversidad de enemigos naturales y la abundancia de insectos plaga

# Capítulo 8

## BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE PLAGAS EN AGROECOSISTEMAS

### INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

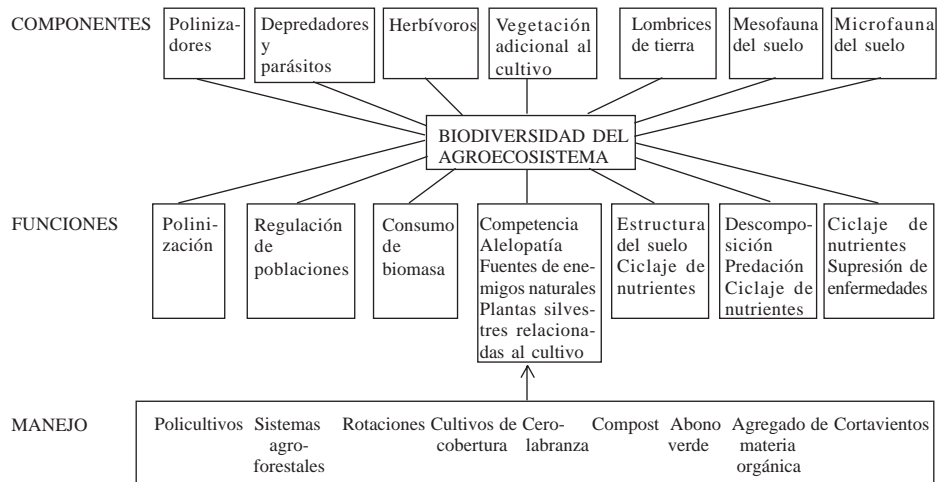


LA NATURALEZA Y FUNCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

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

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

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



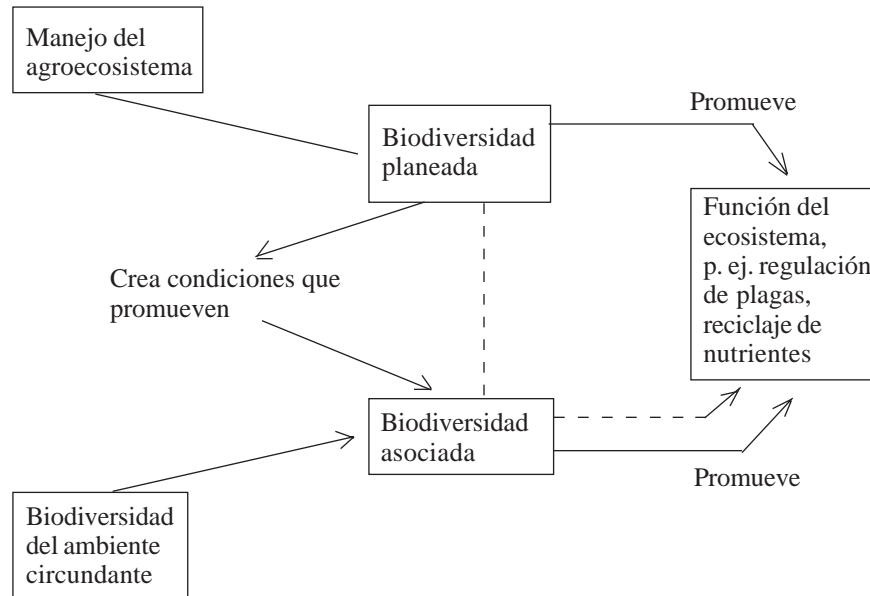
**Figura 1.** Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas (según Altieri, 1991).

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

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

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

De acuerdo a Vandermeer y Perfecto (1995) se pueden reconocer dos tipos de componentes de la biodiversidad. El primer componente, biodiversidad planificada, es la biodiversidad asociada con los cultivos y animales incluidos en el agroecosistema por el agricultor, la cual variará de acuerdo al manejo y los arreglos de cultivos. El segundo componente, la biodiversidad asociada, incluye la flora y fauna del suelo, los herbívoros, descomponedores y depredadores, que colonizan al agroecosistema desde los ambientes circundantes y que permanecerán en el agroecosistema dependiendo del tipo de manejo adoptado. La relación entre los dos componentes de biodiversidad se ilustra en la **Figura 2**. La biodiversidad planificada tiene una función directa como lo señala la flecha que conecta a la caja de biodiversidad planificada y la caja de la función del agroecosistema. La biodiversidad asociada también tiene una función, pero está mediada por la biodiversidad planificada que también exhibe una función indirecta. Por ejemplo, en un sistema agroforestal, los árboles crean sombra, lo que hace posible que sólo crezcan cultivos tolerantes a la sombra. Por lo tanto, la función directa de los árboles es crear sombra. Pero asociadas a los árboles existen pequeñas avispas que buscan el néctar en las flores de los árboles. Estas avispas son parasitoides naturales de plagas que normalmente atacan a los cultivos. Las avispas son parte de la biodiversidad asociada. Así los árboles crean sombra (función directa) y atraen avispas (función indirecta) (Vandermeer y Perfecto, 1995).



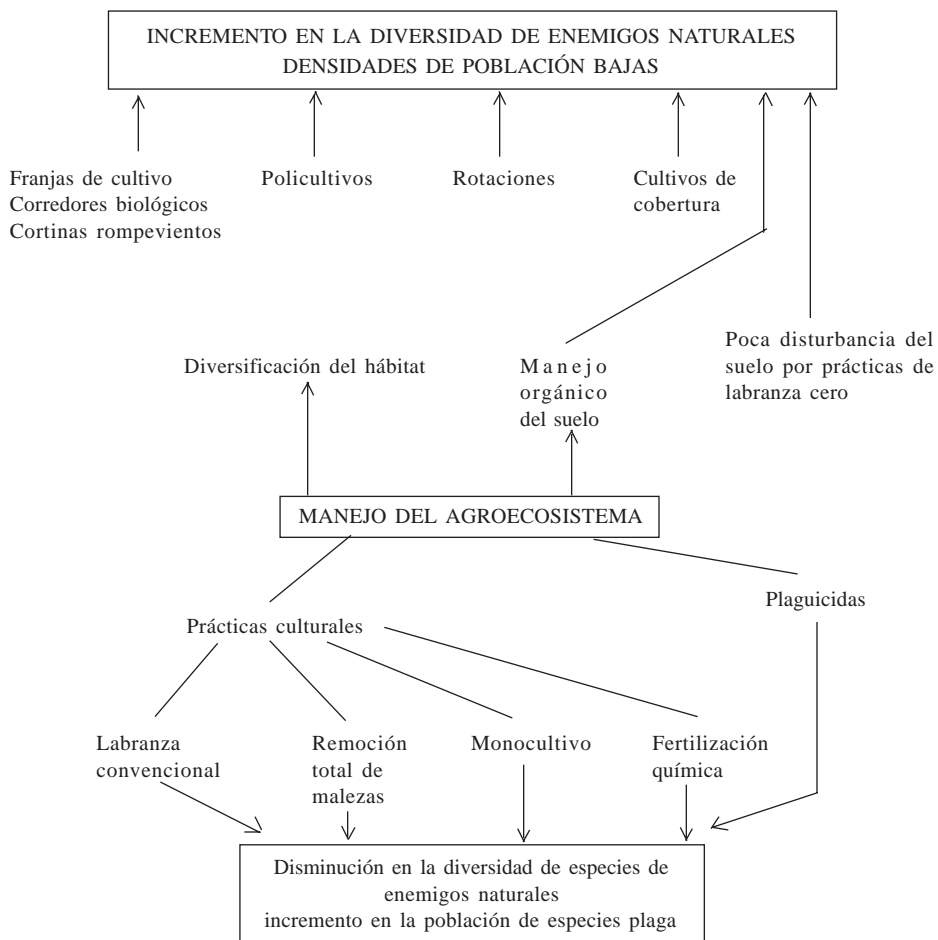
**Figura 2.** La relación entre los varios tipos de biodiversidad y el funcionamiento de agroecosistemas.

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

#### PATRONES DE BIODIVERSIDAD DE INSECTOS EN AGROECOSISTEMAS

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

*Biodiversidad y manejo de plagas*



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

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

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

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

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

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

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

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

A pesar de que los enemigos naturales varían ampliamente en su respuesta a la distribución, densidad y dispersión de cultivos, la evidencia señala que los atributos estructurales del agroecosistema (diversidad vegetal, niveles de insumos, etc.) influyen marcadamente en la dinámica y diversidad de depredadores y parasitoides. La mayoría de estos atributos se relacionan con la biodiversidad y están sujetos al manejo (p. ej. asociaciones y rotaciones de cultivos, diversidad de malezas, diversidad genética, etc.). Basándose en la información disponible, la biodiversidad de enemigos naturales y su efectividad se puede incrementar en los agroecosistemas de las siguientes maneras (Rabb y otros 1976, Altieri y Whitcomb, 1979):

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

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

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

Hay varios factores que permiten a los policultivos limitar el ataque de plagas. El cultivo puede estar protegido de las plagas por la presencia física de otro cultivo más alto que estaría actuando como barrera o camuflaje. La asociación de repollo con tomate reduce las poblaciones de polilla del repollo, mientras que las mezclas de maíz, frijol y calabaza tienen el mismo efecto sobre crisomélidos. El olor de algunas plantas también puede afectar la capacidad de búsqueda de ciertas plagas. Los bordes de pasto repelen a cicadélidos del frijol y los estímulos químicos de la cebolla no permiten a ciertas especies de moscas encontrar las zanahorias (Altieri, 1994).

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

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

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

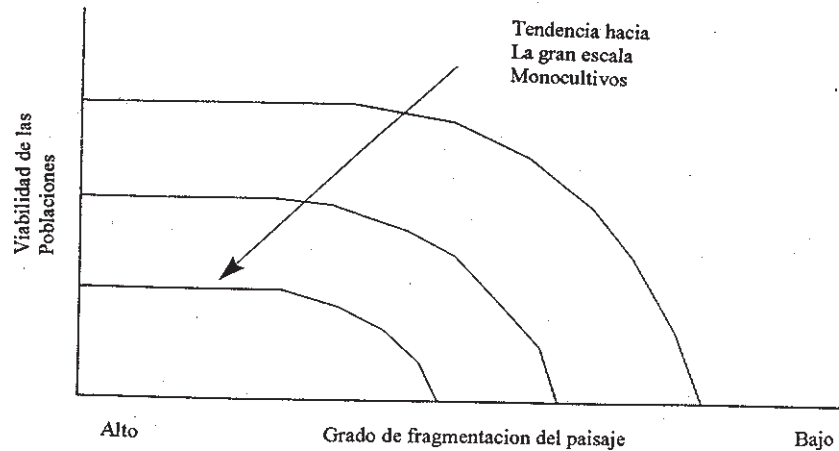
los nexos tróficos aumentan y se desarrollan promoviendo la estabilidad de las poblaciones de insectos. Sin embargo, es claro que esta estabilidad depende no sólo de la diversidad trófica, sino más bien de la respuesta dependiente de la densidad que tengan los niveles tróficos más altos (Southwood y Way, 1970). En otras palabras, la estabilidad depende de la precisión de la respuesta de cada nivel trófico al incremento poblacional en un nivel inferior. Por lo tanto, se trata de una diversidad selectiva y no de una colección de especies al azar, lo que resulta clave para alcanzar la regulación biótica (Dempster y Coaker, 1974).

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

#### ESTRUCTURA DEL PAISAJE AGRÍCOLA Y BIODIVERSIDAD DE INSECTOS

Una tendencia desafortunada que acompaña a la expansión de los monocultivos es que ésta ocurre a expensas de la vegetación natural circundante que sirve para mantener la biodiversidad a nivel del paisaje. Una consecuencia de esta tendencia es que la cantidad total de hábitat disponible para insectos benéficos está descendiendo a tasas alarmantes. El impacto hipotético de la fragmentación del paisaje sobre la sobrevivencia de enemigos naturales se delinea en la **Figura 4**. Las implicaciones de la pérdida de hábitat para el control biológico de plagas pueden ser serias dada la evidencia que demuestra un incremento de plagas en los paisajes agrícolas homogéneos (Altieri y Letourneau, 1982).





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

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

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

En muchos casos, las malezas y otro tipo de vegetación alrededor de los campos albergan presas/hospederos para los enemigos naturales, proporcionando así recursos estacionales y cubriendo las brechas en los ciclos de vida de los insectos entomófagos y de las plagas (Altieri y Whitcomb, 1979). Un ejemplo clásico es el de la avispa parasitoide de huevos *Anagrus epos*, cuya eficacia en regular las poblaciones del cicadelido de la vid, *Erythroneura elegantula*, se

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

Diversas investigaciones en el norte de California han demostrado que existe un movimiento considerable de insectos entomófagos desde los bosques riparios hacia los huertos de manzanos adyacentes, siendo los huertos orgánicos los que muestran mayor colonización que los huertos asperjados con insecticidas (Altieri y Schmidt, 1986). Varias especies de depredadores y parásitos colectados en los márgenes del bosque fueron capturados en la interface huerto-bosque y más tarde colectados dentro de los bosques, sugiriendo que la organización de la fauna benéfica de los huertos está condicionada por el tipo de vegetación natural circundante.

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

A pesar de estas observaciones, existen pocos esfuerzos en el mundo para diversificar agroecosistemas modernos a nivel del paisaje con márgenes naturales, compuestos por especies en floración que actúan como plantas insectarias. Experiencias de este tipo llenarían una brecha en la información de cómo los cambios en el diseño físico y a nivel de biodiversidad en agroecosistemas afectarían la distribución y abundancia de una comunidad compleja de insectos plaga y enemigos naturales asociados.

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

campos adyacentes, tendrá implicancias mayores en el diseño de estrategias MIP (Manejo Integrado de Plagas) a nivel de paisaje. Se espera que estos corredores puedan servir como canales para la dispersión de depredadores y parásitos en agroecosistemas. Dada la alta relación perímetro-área de los corredores, la interacción con campos adyacentes es substancial, proveyendo protección a los cultivos dentro de un área de influencia, determinada por la distancia que se mueven los depredadores desde los corredores hacia cierto rango del campo. Al documentar estos efectos será posible entonces determinar el largo, ancho, distancia y frecuencia a la que los corredores deberán colocarse en los campos para mantener un nivel óptimo de entomofauna benéfica, evitando así la necesidad del uso de plaguicidas. Un sistema de corredores y márgenes en agroecosistemas puede también tener efectos importantes a nivel ecológico, tales como interrupción de la dispersión de propagulos de patógenos y semillas de malezas, barreras al movimiento de insectos dispersados por el viento, decremento del acarreo de sedimentos y pérdida de nutrientes, producción de biomasa incorporable al suelo, y modificación de la velocidad del viento y microclima local (**Figura 5**). Lo más importante es que el diseño de corredores puede ser una estrategia importante para la re-introducción de biodiversidad en monocultivos de gran escala, facilitando así la reestructuración de agroecosistemas para su conversión a un manejo agroecológico.

## CONCLUSIONES

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

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

biológico de plagas y conservación de suelo y agua. La explotación de estas sinergias en situaciones reales requieren del diseño y manejo de los agroecosistemas basado en el entendimiento de las múltiples interacciones entre suelos, plantas, artrópodos y microorganismos. La idea es restaurar los mecanismos de regulación natural adicionando biodiversidad selectiva dentro y alrededor de los agroecosistemas.

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

# Capítulo 9

## AGRICULTURA TRADICIONAL Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

### INTRODUCCIÓN

Una de las características sobresalientes de los sistemas agrícolas tradicionales de toda Latinoamérica es el alto grado de biodiversidad. Estos sistemas emergieron a lo largo de centurias de evolución cultural y biológica y representan experiencias acumuladas por los campesinos en su interacción con el entorno sin acceso a insumos, capitales o conocimientos científicos externos (Chang, 1977; Grigg, 1974). Confiando en su propia capacidad creativa, experiencia y recursos disponibles localmente, los campesinos han desarrollado sistemas de producción con rendimientos sostenidos (Harwood, 1979). Desde una perspectiva agroecológica, los agroecosistemas campesinos pueden verse como un *continuum* de unidades agrícolas y ecosistemas naturales o seminaturales, donde se practican activamente tanto la colecta de plantas como la producción de cultivos. Muchos de estos agroecosistemas tradicionales, que todavía se localizan en los Andes, Mesoamérica y las tierras bajas tropicales, constituyen repositorios *in situ* de germoplasma tanto de plantas silvestres como de cultivos nativos. Estos recursos vegetales dependen directamente del manejo de grupos humanos; así han evolucionado, en parte, bajo la influencia de prácticas agrícolas elaboradas por culturas particulares (Nabhan, 1983).

Probablemente el mayor desafío en la comprensión del modo en que los campesinos mantienen, preservan y manejan la biodiversidad es el reconocimiento de que la complejidad de sus sistemas de producción está estrechamente ligada a la sofisticación de los conocimientos que tienen quienes los manejan. Es por esta razón que los agroecólogos se oponen a aquellos enfoques que separan el estudio de la biodiversidad agrícola del estudio de las culturas que la nutren.

Este capítulo explica las características de la biodiversidad inherentes a los agroecosistemas tradicionales y las formas en las cuales los campesinos aplican

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

el conocimiento local al manejo de tal biodiversidad para satisfacer los requerimientos de subsistencia y a la vez obtener servicios ecológicos. Se aboga por la preservación de estos agroecosistemas tradicionales en conjunto con el mantenimiento de la cultura de la población local. No es posible la conservación y manejo de la biodiversidad sin la preservación de la diversidad cultural.

#### CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS AGROECOSISTEMAS TRADICIONALES

Una característica sobresaliente de los sistemas agrícolas tradicionales es su grado de diversidad vegetal en la forma de patrones de policultivos o de agroforestería (Chang, 1977; Clawson, 1985). Esta estrategia campesina de minimizar el riesgo sembrando diversas especies y variedades de cultivos, estabiliza los rendimientos a largo plazo, promueve la diversidad de dietas y maximiza los retornos con niveles tecnológicos bajos y recursos limitados (Harwood, 1979).

Los sistemas tradicionales de cultivos múltiples producen entre el 15 a 20 por ciento de la provisión mundial de alimentos (Francis, 1985). Los policultivos constituyen al menos el 80 por ciento de la superficie cultivada en África Occidental y también predominan en otras áreas de África (Norma, 1979). La mayor parte de la producción de cultivos básicos en los trópicos latinoamericanos es en policultivos. Más del 40 por ciento de la yuca, el 60 por ciento del maíz y el 80 por ciento de los porotos crecen en mezclas entre ellos y con otros cultivos en esta región.

Los policultivos son muy comunes en áreas de Asia en las que el arroz de secano, el millo, el maíz y el trigo bajo riego, son los cultivos básicos. El arroz acuático se cultiva generalmente como monocultivo, pero en algunas áreas del sureste asiático los agricultores construyen camas elevadas para producir cultivos de secano en medio de las parcelas de arroz (Beets, 1982).

Los agroecosistemas tropicales de pequeña escala generalmente están compuestos de campos agrícolas y barbechos, huertos caseros complejos y parcelas de agroforestería que comúnmente contienen más de 100 especies vegetales por campo, las cuales se usan como material de construcción, leña, herramientas, medicinas, forrajes y alimento. Los ejemplos incluyen sistemas agroforestales multiuso manejados por los huastecos y lacandones en México, los indios bora y kayapo en la cuenca amazónica y muchos otros grupos étnicos que incorporan árboles a sus sistemas de producción (Wilken, 1977).

En el trópico latinoamericano, los huertos familiares son una forma de uso

de la tierra altamente eficiente, que incorpora una variedad de cultivos de diferentes hábitos de crecimiento. El resultado es una estructura similar a la de los bosques tropicales, con diversidad de especies y arquitectura estratificada (Denevan *et al.*, 1984). Por ejemplo en México, los indígenas huastecas manejan una gran cantidad de campos agrícolas y barbechos, jardines caseros complejos y parcelas de bosques, con un total de 300 especies vegetales útiles, sobre todo plantas nativas medicinales. El manejo por los huastecas de vegetación no cultivada en estos sistemas agrícolas complejos ha influido en la evolución y composición de las comunidades de cultivos y de plantas silvestres.

También en México (Wilken, 1977), los agricultores favorecen el crecimiento de árboles leguminosos nativos en los campos cultivados. Desde Puebla y Tehuacán hacia el Sur a través de Oaxaca, las granjas contienen stands moderadamente densos de mesquite (*Prosopis* spp.), guaje (*Leucaena esculenta*) y guamuchil (*Pithecellobium* spp.). La densidad del *stand* varía desde pocos árboles hasta bosques virtuales con cultivos instalados en el soto.

Una práctica levemente diferente se observa cerca a Ostuncalco, Guatemala, donde tocones de sauco (*Sambucus mexicana*) rigurosamente podados salpican los campos de maíz y papas. Las hojas y las ramas pequeñas se remueven anualmente, se desparraman alrededor de plantas individuales del cultivo y se trozan y entierran con azadas anchas. Los agricultores locales declaran que la calidad y rendimiento de los cultivos en los suelos volcánicos arenosos de esta región dependen de estas adiciones anuales de hojas de sauco.

Muchos agroecosistemas tradicionales están ubicados en centros de diversidad de cultivos, por lo que, contienen poblaciones de razas locales variables y adaptadas, así como parientes silvestres de los cultivos (Harlan, 1976). Clawson (1985) describió varios sistemas en los cuales los granjeros tropicales plantan múltiples variedades de cada cultivo, proveyendo diversidad tanto intraespecífica como interespecífica, incrementando la seguridad de la cosecha. Por ejemplo, en los Andes, los campesinos cultivan unas 50 variedades de papas en sus campos (Brush, 1982). De la misma manera, en Tailandia e Indonesia, los granjeros mantienen una diversidad de variedades de arroz en sus arrozales, adaptadas a un amplio intervalo de condiciones ambientales, y regularmente intercambian semillas con los vecinos (Grigg, 1974). La diversidad genética resultante incrementa la resistencia a las enfermedades que atacan líneas particulares de cultivos, permite que se exploten microclimas diversos y que se deriven usos nutritivos y de otros tipos de la variación genética intraespecífica.

Muchas plantas dentro o alrededor de los sistemas tradicionales de cultivo

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

son parientes silvestres de los cultivos. De hecho, muchos agricultores permiten la presencia de ciertas malezas dentro o alrededor de sus campos si sirven un propósito útil. Mediante la práctica del cultivo «no limpio», ya sea intencional o no, se puede incrementar el flujo genético entre los cultivos y sus parientes. Por ejemplo, en México, los agricultores permiten que el teosinte permanezca dentro o cerca de los campos de maíz, de modo que cuando éste es polinizado por el viento ocurren algunos cruzamientos naturales que resultan en híbridos (Chacon y Gliessman, 1982).

En la sierra mexicana los indígenas Tarahumaras dependen para alimento de ciertas malezas comestibles (*Amaranthus*, *Chenopodium*, *Brassica*), de abril a julio, período crítico previo a la maduración, que tiene lugar de agosto a octubre en los campos sembrados de maíz, frijoles, calabazas y pimientos. Las malezas también sirven como provisión alimenticia alternativa en estaciones en que los cultivos de maíz son destruidos por las frecuentes tormentas de granizo. En cierto sentido, los tarahumara practican un sistema de doble cultivo de maíz y malezas, que permite dos cosechas: una de plántulas de malezas usadas como hortalizas, al comienzo de la estación de crecimiento, y otra de maíz hacia el final (Bye, 1981).

### LA NATURALEZA COMPLEJA DEL CONOCIMIENTO ETNOECOLÓGICO DE LOS CAMPE- SINOS

Etnoecología es el estudio y descripción de los sistemas de conocimiento del mundo natural de las etnias indígenas rurales. Este conocimiento tiene muchas dimensiones, incluyendo la lingüística, la botánica, la zoológica, lo artesanal y lo agrícola, etc. y se deriva de la interacción directa entre los humanos y el entorno. Se extrae información del ambiente por sistemas especiales de cognición y percepción, que seleccionan la información más útil y adaptativa, y las adaptaciones exitosas son preservadas y transmitidas de generación en generación por medios orales o experimentales. El conocimiento de los indígenas acerca del suelo, el clima, la vegetación, los animales y los ecosistemas, en general resulta en estrategias productivas multidimensionales; esto es, ecosistemas con múltiples especies. Estas estrategias generan, dentro de ciertos límites ecológicos y técnicos, la autosuficiencia alimentaria de los campesinos de una región (Toledo *et al.*, 1985).

Para los agroecólogos, cuatro aspectos de estos sistemas de conocimiento tradicional (Altieri, 1987) son importantes:



- 1) el conocimiento acerca del ambiente;
- 2) las taxonomías biológicas autóctonas;
- 3) el conocimiento de prácticas agrícolas; y
- 4) la naturaleza experimental del conocimiento tradicional.

#### 1. Conocimiento acerca del ambiente

El conocimiento indígena acerca del entorno físico es frecuentemente muy detallado. Muchas culturas campesinas han desarrollado calendarios tradicionales para controlar el cronograma de las actividades agrícolas. Muchos siembran según las fases de la luna, en la creencia de que hay fases lunares lluviosas. Muchos manejan la estacionalidad climática, utilizando indicadores basados en la fenología de la vegetación local.

Los tipos de suelos, los grados de fertilidad edáfica, y las categorías de uso de la tierra, también son discriminadas en detalle por los agricultores. Los tipos de suelo se distinguen frecuentemente por el color, la textura y aún el sabor. Los agricultores nómades generalmente clasifican sus suelos sobre la base de la cobertura vegetal. En general, los tipos de clasificación de suelos dependen de la naturaleza de la relación que el campesino tiene con la tierra (Williams y Ortiz Solario, 1981). Los sistemas aztecas de clasificación del suelo eran muy complejos, reconociendo más de dos docenas de tipos de suelo identificados por el origen, el color, la textura, el olor, la consistencia y el contenido de materia orgánica. Estos suelos eran ordenados de acuerdo a su potencial agrícola y la clasificación se usaba tanto para la evaluación de la tierra como para los censos rurales.

Los campesinos andinos de Coporaque, Perú, reconocen cuatro clases principales de suelo, cada una de las cuales tiene propiedades específicas que definen el sistema de cultivo más adecuado (Brush, 1982).

#### 2. Taxonomías biológicas autóctonas

Se han documentado muchos sistemas complejos usados por los indígenas para agrupar plantas o animales (Berlin *et al.*, 1973). En general, el nombre tradicional de los organismos revela su estatus taxonómico. Los investigadores han encontrado que en general existe una buena correlación entre los taxa autóctonos y los taxa científicos.

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

La clasificación de los animales, en especial de los insectos y pájaros, está generalizada entre campesinos y grupos indígenas. Los insectos y artrópodos cumplen papeles preponderantes ya sea son plagas de los cultivos, o causantes de enfermedades, o sirven como alimento y como medicinas y son importantes en la mística y el folklore. En muchas regiones, las plagas agrícolas son toleradas porque constituyen productos agrícolas; esto es, los agricultores tradicionales consumen plantas y animales que por otros serían consideradas plagas (Brokenshaw *et al.*, 1980).

Las etnobotánicas son las taxonomías autóctonas más comúnmente documentadas (Alcom, 1984). El conocimiento etnobotánico de ciertos campesinos mexicanos es tan elaborado que los indígenas Tzeltal, P'urepecha y de Yucatán pueden reconocer más de 1200, 900 y 500 especies vegetales, respectivamente (Toledo *et al.*, 1985). De manera similar, las mujeres nómadas iko de Botswana identificaron 206 de las 211 especies colectadas por un investigador (Chambers, 1983), y los agricultores nómadas hanunhóo pueden distinguir más de 1600 especies vegetales (Grigg, 1974).

#### 3. Conocimiento de las prácticas agrícolas

Con el avance de la investigación, las prácticas agrícolas campesinas, consideradas anteriormente primitivas o erradas, se reconocen ahora como sofisticadas y apropiadas. Enfrentados a problemas específicos de pendiente, inundación, sequía, plagas y enfermedades, baja fertilidad, etc., los pequeños productores en todo el mundo han desarrollado sistemas de manejo que tienen por objeto superar estas limitaciones (Klee, 1980). En general, los agricultores tradicionales han satisfecho los requerimientos ambientales de sus sistemas productores de alimentos concentrándose en unas pocas propiedades y procesos, resultando en una miríada de sistemas agrícolas que poseen las siguientes «características» estructurales y funcionales comunes (Gliessman *et al.*, 1984, Altieri y Anderson, 1986):

1. Combinan un gran número de especies y diversidad estructural en el tiempo y en el espacio, mediante la organización tanto horizontal como vertical de los cultivos.
2. Explotan una variedad de microambientes, que difieren en suelos, temperatura, altitud, pendiente, fertilidad, etc., en un campo o en una región.
3. Mantienen ciclos cerrados de materiales y desechos a través de prácticas efectivas de reciclado.

4. Cuentan con una complejidad de interdependencias ecológicas, resultando en cierto grado de supresión biológica de las plagas.
5. Cuentan con recursos locales, más energía humana y animal, usando pocos insumos externos.
6. Cuentan con variedades locales de cultivos e incorporan el uso de plantas y animales silvestres. La producción es generalmente para el consumo local; así, la influencia de factores no económicos en la toma de decisiones es sustancial.

#### 4. La naturaleza experimental del conocimiento tradicional

El poder del conocimiento de la población rural estriba en que se basa no sólo en la observación aguda, sino también en el aprendizaje experimental. El enfoque experimental es muy aparente en la selección de variedades de semillas para ambientes específicos, pero también está implícito en la prueba de métodos nuevos de cultivo para superar las limitaciones biológicas o socioeconómicas particulares. En cuanto a efectos, Chambers (1983) argumenta que los agricultores logran a menudo una riqueza de observación y una agudeza de discriminación que serían accesibles a los científicos occidentales sólo mediante mediciones y computaciones largas y detalladas.

Sólo recientemente parte de este conocimiento ha sido descrito y registrado por los investigadores. La evidencia sugiere que la discriminación más aguda ocurre en comunidades cuyo ambiente tiene gran diversidad física y biológica y/o en comunidades que viven próximas a los límites de la supervivencia (Chambers, 1983). También, los miembros más viejos generalmente poseen conocimientos mayores y más detallados que los más jóvenes (Klee, 1980).

#### LOS SERVICIOS ECOLÓGICOS DE LA BIODIVERSIDAD EN AGROECOSISTEMAS TRADICIONALES

La actividad productiva agrícola campesina refleja comúnmente un sistema de uso múltiple de ecosistemas tanto naturales como artificiales, trascendiendo los límites de las unidades productivas en las cuales crecen los cultivos. En muchas áreas del Tercer Mundo, los agricultores utilizan, mantienen y preservan, dentro de o adyacentes a su propiedad, áreas de ecosistemas naturales (bosques, cerros, lagos, pastizales, arroyos, pantanos, etc.) que aportan valiosos suplementos alimenticios, materiales de construcción, medicinas, fertilizantes or-

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

gánicos, combustibles, objetos religiosos, etc. (Toledo, 1980). En efecto, las unidades de producción de cultivos y los ecosistemas adyacentes frecuentemente se integran en un único agroecosistema.

Los patrones de subsistencia en las sociedades campesinas dependen no sólo de la producción sino también de la recolección de plantas, de la caza y de la pesca como actividades productivas, además de la agricultura (Caballero y Mapes, 1985). Aunque la recolección se ha asociado normalmente con condiciones de pobreza (Wilken, 1970), la evidencia reciente sugiere que esta actividad se asocia estrechamente con la persistencia de una tradición cultural fuerte. Además, la recolección de vegetación tiene un fundamento ecológico y económico, ya que las plantas silvestres coleccionadas proveen suministros esenciales de alimento, materia prima para la industria de la finca, y otros recursos, especialmente durante períodos de baja producción agrícola debido a calamidades naturales u otras circunstancias. Los ecosistemas de plantas silvestres también proveen servicios ecológicos a los campesinos, tales como hábitat para la vida silvestre y para los enemigos naturales de las plagas agrícolas, vertientes, mantillo para los campos, etc.

En agroecosistemas tradicionales la prevalencia de sistemas de cultivos complejos y diversificados es de capital importancia para los campesinos, ya que las interacciones entre cultivos, animales y árboles resulta en sinergias benéficas que permiten a los agroecosistemas patrocinar su propia fertilidad, control de plagas y productividad (Altieri, 1987; Harwood, 1979; Richards, 1985):

1. Mediante cultivos asociados, los campesinos sacan ventaja de la capacidad de los sistemas de cultivos de re-usar sus propios nutrientes almacenados. La tendencia de algunos cultivos de agotar el suelo es contrarrestada mediante la intersiembra de otros cultivos que enriquecen el suelo con materia orgánica. El nitrógeno del suelo, por ejemplo, puede incrementarse incorporando leguminosas en la mezcla de cultivos, y la asimilación de fósforo puede incrementarse asociando cultivos con micorrizas.
2. La estructura compleja de los agroecosistemas tradicionales minimiza la pérdida de cultivos por insectos plaga, mediante una variedad de mecanismos biológicos. La intersiembra de diversas especies vegetales ayuda a proveer hábitat para los enemigos naturales de los insectos así como plantas hospedantes alternativas para las plagas. Un cultivo puede establecerse como hospedante distractor, protegiendo del daño a otro más susceptible o económicamente más valioso. La gran diversidad de culti-

vos asociados en policultivos contribuye a prevenir la concentración de plagas en los individuos comparativamente aislados de cada especie. En los sitios donde se practica agricultura nómada, el tamaño reducido de las parcelas rodeadas de bosque secundario permite la migración fácil de predadores naturales de las plagas desde los bosques vecinos.

3. El incremento de la diversidad específica y genética de los sistemas de cultivo a modo de usar simultáneamente varias fuentes de resistencia, es una estrategia clave para minimizar las pérdidas producidas por enfermedades de las plantas y por nemátodos. La asociación de cultivos puede retardar el inicio de las enfermedades, reducir la dispersión de los vectores de la enfermedad y modificar las condiciones ambientales tales como la humedad, luz, temperatura y movimiento del aire, haciéndolos menos favorables para la dispersión de determinadas enfermedades.
4. Muchos sistemas de interseembra evitan la competencia de las malezas, principalmente debido a que el alto índice de área foliar de sus doseles complejos, impiden que una cantidad suficiente de luz llegue a las malezas heliófitas. En general, el grado de competencia presentado por las malezas depende del tipo de cultivo y de la proporción de las diferentes especies cultivadas, su densidad, la fertilidad del suelo y las prácticas culturales. La supresión de las malezas puede incrementarse en las interseembras agregando especies cultivadas que inhiben la germinación o crecimiento de malezas. Los cultivos tales como centeno, cebada, trigo, tabaco y avena, liberan sustancias tóxicas, ya sea a través de las raíces o por la pudrición de las partes vegetales. Estas toxinas inhiben la germinación y el crecimiento de algunas especies de malezas tales como la mostaza silvestre (*Brassica* sp) y la amapola (*Papaver* sp).

#### DESARROLLO RURAL Y MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS AGROECOSISTEMAS TRADICIONALES

A medida que se produce la conversión de la agricultura de subsistencia en agricultura comercial, progresa la pérdida de biodiversidad de manera alarmante en muchas sociedades rurales. A medida que los campesinos se enganchan en la economía del mercado, las fuerzas económicas influyen crecientemente el modo de producción, el cual se caracteriza por los cultivos genéticamente uniformes y paquetes mecanizados y/o uso de agroquímicos.

Las razas locales de cultivos y los parientes silvestres son abandonados pro-

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

gresivamente, transformándose en relictos o extinguiéndose. En algunas áreas, la escasez de tierra, que resulta mayormente de la distribución inequitativa de la misma, ha forzado cambios en el uso de la tierra y en prácticas agrícolas con la consiguiente desaparición de hábitats que mantenían vegetación natural, incluyendo a los progenitores silvestres y formas antiguas de cultivos (Altieri *et al.*, 1998).

En muchas áreas, la erosión genética está ocurriendo aceleradamente porque los agricultores están cambiando rápidamente sus sistemas de cultivo, empujados por las fuerzas sociales, económicas y técnicas. A medida que se adoptan nuevas variedades (HYVs = variedades de alto rendimiento), hay una tendencia a la subdivisión de los sistemas de producción en comerciales (dedicados mayormente a las HYVs) y sectores de subsistencia, en los cuales todavía se cultivan variedades nativas. La mayor pérdida de variedades tradicionales está ocurriendo en las tierras bajas de los valles cercanos a los centros urbanos y a los mercados (Brush, 1986).

Dadas estas tendencias destructivas, muchos científicos y planificadores han enfatizado la necesidad de la conservación *in situ* de los recursos genéticos de los cultivos y de los ambientes en los que estos crecen (Prescott-Allen y Prescott-Allen, 1981). Sin embargo, la mayoría de los investigadores considera que la preservación *in situ* de las razas locales requeriría un retorno a la preservación de microcosmos de agricultura tradicional primitiva, propuesta inaceptable e impráctica (Frankel y Soulé, 1981). Se sostiene aquí que, no obstante, el mantenimiento de los agroecosistemas tradicionales es la única estrategia sensata para preservar *in situ* los repositorios del germoplasma de los cultivos. Aunque los agroecosistemas más tradicionales están en algún proceso de modernización o de cambio drástico, la conservación de los recursos genéticos de los cultivos todavía puede integrarse al desarrollo agrícola, especialmente en las regiones en las cuales los proyectos de desarrollo rural preservan la diversidad vegetal de los agroecosistemas tradicionales y se anclan en la racionalidad campesina para utilizar los recursos locales y en su conocimiento íntimo del ambiente (Alcorn, 1984; Nabhan, 1983).

Las recomendaciones previas para la conservación *in situ* de germoplasma cultivado han enfatizado el desarrollo de un amplio sistema de custodios de las razas locales a nivel de aldeas (un sistema de curador agricultor) cuyo propósito sería continuar el cultivo de una muestra limitada de razas nativas regionales en peligro de extinción (Mooney, 1983). Se ha sugerido que los gobiernos destinen fajas de 5 x 20 Kms cuidadosamente elegidas en unos 100 sitios en el mundo,

donde todavía se practica la agricultura nativa, para la conservación de la diversidad de las especies cultivadas (Wilkes y Wilkes, 1972). Dado el empobrecimiento creciente y la falta de opciones generadoras de ingresos para la población rural del Tercer Mundo, una propuesta de este tipo es claramente absurda porque los pobres rurales requieren en primer lugar la satisfacción de sus necesidades de subsistencia. En muchas áreas, la cuestión urgente a corto plazo es la supervivencia; el desvío de la poca tierra disponible para los campesinos con fines de conservación *per se* puede resultar totalmente inapropiado. Los esfuerzos de preservación deberían estar ligados a una agenda integral de desarrollo rural. El diseño de sistemas agrícolas sustentables y de tecnologías apropiadas dirigidas a mejorar la producción alimentaria campesina para la autosuficiencia debería incorporar cultivos nativos y parientes silvestres dentro y alrededor de los campos para complementar los diversos procesos de producción (Altieri y Merrick, 1987).

Si la conservación de la biodiversidad ha de triunfar entre los pequeños agricultores, el proceso debe estar ligado a los esfuerzos de desarrollo rural que dan igual importancia a la conservación de los recursos locales y a la autosuficiencia alimentaria y/o a la participación en el mercado. Todo intento de conservación genética *in situ* debe luchar para preservar el agroecosistema que contiene estos recursos (Nabhan, 1983). En la misma línea, la preservación de los agroecosistemas tradicionales no puede lograrse sin el mantenimiento de las organizaciones socioculturales de los pueblos nativos (Altieri, 1987). Los pocos ejemplos de programas de desarrollo rural actualmente en funcionamiento en el Tercer Mundo, sugieren que el proceso de mejoramiento agronómico debe:

- a) utilizar y promover el conocimiento autóctono y las tecnologías conservadoras de recursos;
- b) enfatizar el uso de recursos locales y nativos, incluyendo el valioso germoplasma cultivado así como productos esenciales como la leña y las plantas medicinales y
- c) ser un esfuerzo autosostenido, a nivel de aldea, con la participación activa de los campesinos (Altieri, 1987).

El subsidio al cultivo de un campesino con recursos externos (plaguicidas, fertilizantes, agua de riego) puede incrementar los niveles de productividad a través de la dominación de un modo de producción, pero estos sistemas se sostienen sólo con altos costos externos y dependen de la disponibilidad ininterrumpida de insumos comerciales. Una estrategia agrícola basada en la diversidad de plantas y de sistemas complejos de cultivos puede acarrear niveles de

### *Agricultura tradicional y biodiversidad*

moderados a altos de productividad mediante la manipulación y la explotación de los recursos internos de la chacra y puede ser sostenible a un costo muy inferior y por períodos muchos más largos.

### CONCLUSIONES

Una conclusión clave que emerge de la literatura antropológica y ecológica es que los modos de producción campesina, cuando no son perturbados por fuerzas económicas o políticas, generalmente preservan la biodiversidad y los recursos naturales. En efecto, en toda región particular, el desarrollo capitalista, con la promoción de la agricultura comercial a gran escala, sin duda afecta la conservación de los recursos naturales más que algunos de los sistemas campesinos existentes. Además de usar la diversidad de los cultivos, los agricultores tradicionales usan un conjunto de prácticas que minimizan la degradación de la tierra. Este incluye el uso de terrazas y barreras vivas en terrenos en pendiente, labranza mínima, cobertura orgánica del suelo, parcelas pequeñas, y largos ciclos de barbecho (Grigg, 1974; Brush, 1980). En las mismas áreas, la modernización agrícola, con la concentración en rotaciones cortas, monocultivos y menos variedades, ha causado degradación ambiental y erosión de la diversidad genética.

No se trata de generar un halo de romanticismo alrededor de la agricultura de subsistencia, ni tampoco de considerar que el desarrollo *per se* es dañino. La intención es, más bien, acentuar el valor de agricultura tradicional para la conservación de la biodiversidad, de la diversidad de los cultivos nativos y de las comunidades vegetales adyacentes (Toledo, 1980). La fundamentación de una estrategia de desarrollo rural sobre la agricultura tradicional y el conocimiento etnobotánico, no sólo asegura el uso continuado y el mantenimiento de recursos genéticos valiosos, sino también permite la diversificación de las estrategias campesinas de supervivencia (Alcorn, 1984; Caballero y Mapes, 1985), cuestión crucial en tiempos de incertidumbre económica.

Además, el estudio de los agroecosistemas tradicionales y de las maneras en que los campesinos mantienen y usan la biodiversidad puede acelerar considerablemente la emergencia de principios agroecológicos, que son muy necesarios para desarrollar agroecosistemas más sustentables y estrategias de conservación de la biodiversidad tanto en los países industrializados como en países en vías de desarrollo.



# Capítulo 10

## **DIMENSIONES MULTIFUNCIONALES DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN AMÉRICA LATINA**

### INTRODUCCIÓN

La agricultura es un proceso de artificialización de la naturaleza. En general, la agricultura moderna ha llevado consigo la simplificación de la estructura del medio ambiente sobre vastas áreas, reemplazando la diversidad natural por un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos. En efecto, la mayoría de los paisajes agrícolas del mundo son sembrados con sólo 12 especies de cultivos de granos, 23 especies de cultivos de hortalizas y unas 35 especies de tipos de nueces y frutas; muy pocas al compararlas con las que se encuentran dentro de una hectárea de bosque húmedo tropical, que contiene típicamente más de 100 especies de árboles (Thrupp, 1998).

Pero no todas las formas de agricultura han seguido la trayectoria clásica de la artificialización e intensificación. En Latinoamérica, los sistemas se extienden desde sistemas de baja intensidad con largos barbechos a sistemas intensivos permanentemente cultivados, modificando extensas áreas de su estado natural ahora dominadas por monocultivos. En áreas agrícolas comerciales, los hábitat naturales se pierden debido a la expansión de la producción agrícola, especialmente de ganado, caña de azúcar, algodón, soya, café y, recientemente, de cultivos de exportación no tradicionales. Las fincas altamente capitalizadas tienden a estar en tierras de alta calidad, mientras que las fincas de campesinos de bajos recursos tienden a estar sobre tierras ecológicamente marginales o tierras recientemente abiertas a la agricultura. Así, los agricultores empobrecidos carecen de acceso a buena tierra y capital y son forzados por necesidad a trabajar las áreas naturales sobrantes, las cuales generalmente se encuentran en laderas empinadas, a lo largo de los ríos y en otros ambientes frágiles tales como los márgenes de bosques.

En medio de estos tipos extremos de agricultura, en la región existen microcosmos de sistemas de agricultura tradicional (por ejemplo en Mesoamérica, en la región de los Andes y en la cuenca del Amazonas), que han emergido después de siglos de evolución cultural y biológica y representan experiencias acumuladas de campesinos que han estado interactuando con el ambiente sin acceso a insumos externos, capital o conocimiento científico (Chang, 1977; Wilken, 1987). Los agricultores indígenas han desarrollado frecuentemente sistemas de cultivo con rendimientos sostenibles usando la inventiva autóctona, el conocimiento experimental, y los recursos disponibles localmente, (Harwood, 1979; Reinjtes *et al.*, 1992). Estos agroecosistemas, basados en una diversidad de cultivos y variedades mezcladas en el tiempo y el espacio, han permitido a los agricultores tradicionales maximizar la seguridad de la cosecha en condiciones con niveles bajos de tecnología y un mínimo impacto ambiental (Clawson, 1985). Hay también varios ejemplos de programas de desarrollo de base en comunidades rurales en Latinoamérica dirigidos al mantenimiento y aumento de la biodiversidad de los agroecosistemas tradicionales, programas que representan una estrategia que asegura fuentes diversas de ingresos y dietas, producción estable, riesgo mínimo, uso eficiente de los recursos de la tierra y mejoramiento de la integridad ecológica (Altieri, 1995; Pretty, 1995).

Cada vez más, la evidencia que emerge de los análisis de la agricultura tradicional y de los proyectos agroecológicos conducidos por las ONG, muestran que la combinación de producción estable y diversa, internamente generada y con aportes sostenibles, relación favorable de energía *input/output*, y articulación con la subsistencia y las necesidades del mercado, comprende un enfoque efectivo para lograr la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la conservación del medio ambiente (Pretty, 1997; Altieri *et al.*, 1998). Como se argumenta en este artículo, estos enfoques representan estrategias de uso múltiple que incrementan la multifuncionalidad de la agricultura.

#### LA NATURALEZA MULTIFUNCIONAL DE LA AGRICULTURA TRADICIONAL

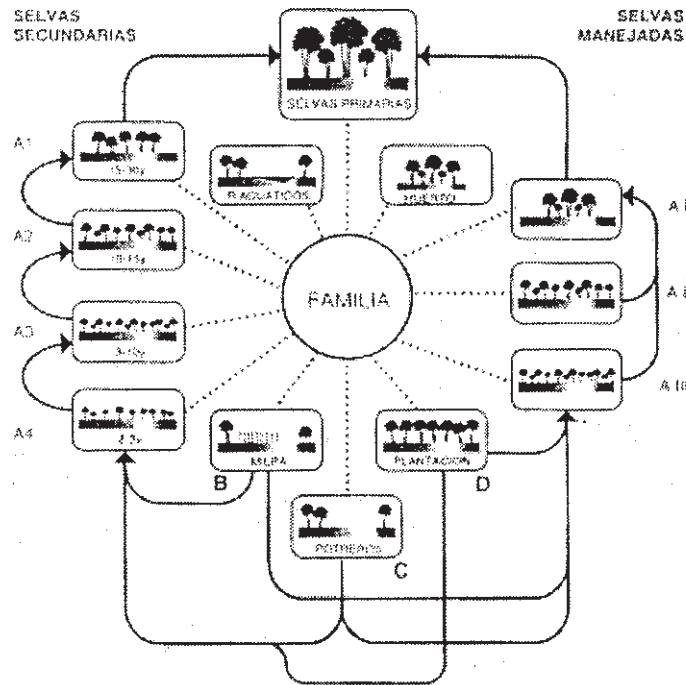
A pesar de la industrialización creciente de la agricultura, la gran mayoría de los agricultores en el mundo en desarrollo son campesinos, o pequeños productores, quienes aún cultivan los valles y laderas de paisajes rurales con métodos tradicionales y de subsistencia. Se estima que en Latinoamérica hay aproximadamente 16 millones de unidades de campesinos ocupando cerca de 160 millones de hectáreas que comprometen a 75 millones de personas, lo cual representa a dos tercios de la población regional rural (Ortega, 1986).

Muchos de estos agroecosistemas son de pequeña escala, discontinuos geográficamente y localizados en una multitud de laderas, aspectos, microclimas, zonas elevadas y tipos de suelo. Están rodeados también por diversas asociaciones vegetales. Las combinaciones de diferentes factores físicos son por lo tanto numerosas y están reflejadas en los diversos sistemas de cultivos elegidos por los agricultores para explotar las características de lugares específicos. Muchos de los sistemas están rodeados por barreras físicas (por ejemplo bosques, ríos, montañas) y por lo cual se encuentran aislados de otras áreas donde los mismos cultivos son sembrados en gran escala. Las especies y diversidad estructural, y el manejo de estos sistemas tradicionales están descritos en la literatura (Alcorn, 1984; Altieri *et al.*, 1987; Chang, 1977; Clawson, 1988; Denevan, 1995; Francis, 1986; Toledo *et al.*, 1985).

En muchas áreas, los agricultores tradicionales han desarrollado y/o heredado sistemas de cultivos complejos, adaptados a las condiciones locales ayudándolos a manejar de manera sustentable ambientes austeros y a satisfacer sus necesidades de subsistencia sin depender de la mecanización, fertilizantes químicos, plaguicidas u otras tecnologías de la ciencia agrícola moderna (Altieri, 1995). De acuerdo con Toledo (1995), los agricultores indígenas en las regiones tropicales húmedas de Latinoamérica tienden a combinar diversos sistemas de producción (**Figura 1**) como parte de un esquema típico de gestión de recursos familiares:

1. El sistema Milpa, que constituye un sistema de policultivo, que incluye entre 20 y 25 especies agrícolas y forestales (anuales y perennes), basado en el cultivo del maíz pero que en muchas ocasiones es combinado e incluso sustituido por productos agrícolas orientados al mercado (pimienta, arroz, ajonjolí, caña de azúcar y frijol, etc.).
2. La extracción de productos de los bosques húmedos primarios y secundarios de diferentes edades sujetos al proceso de sucesión.
3. La manipulación de las secuencias de la unidad forestal en diferentes etapas de disturbio antrópico, de los cuales se obtienen ciertos productos comercializables (principalmente café, vainilla y cacao).
4. La gestión de huertos familiares, los cuales constituyen sistemas agroforestales localizados a un costado o junto a los hogares.

Las principales características que explican la sustentabilidad de estos sistemas de uso múltiple son (Marten, 1986; Reinjtes *et al.*, 1992):



**Figura 1.** Esquema idealizado del manejo de una familia campesina en el trópico húmedo, incluyendo la utilización de las diferentes etapas de regeneración de las selvas maduras (A1-A4) y de las selvas manejadas o antrópicas.

1. Las granjas son pequeñas con producción continua que sirve para satisfacer la subsistencia y las exigencias del mercado.
2. Uso máximo y efectivo de los recursos locales y baja dependencia de insumos externos.
3. Altos rendimientos de energía neta debido a que los aportes de energía son relativamente bajos.
4. Labor diestra, complementaria, familiar o basada en relaciones comunitarias. La dependencia en la labor manual y mecánica muestra relaciones favorables de energía (*input/output*).
5. Enfatiza en el reciclado de nutrientes y materiales.
6. Construye sobre procesos ecológicos naturales (por ejemplo la sucesión) más que ir en contra de la naturaleza.

7. Sistemas de cultivo diversificados en forma de policultivos y en mezclas de cultivos con alta variabilidad genética.

Un aspecto relevante de los sistemas de cultivos tradicionales es su grado de diversidad de plantas, generalmente en forma de policultivos o modelos agroforestales (Clawson, 1985). Esta estrategia del campesino de disminuir el riesgo al sembrar varias especies y variedades de cultivos, estabiliza los rendimientos en el largo plazo, promueve una dieta diversa y aumenta al máximo los retornos en condiciones de niveles bajos de tecnología y recursos limitados (Richards, 1985). Los sistemas tradicionales de cultivos múltiples proveen casi un 20 por ciento del abastecimiento de alimento en el mundo (Francis, 1986). Los policultivos constituyen por lo menos el 80 por ciento del área cultivada del oeste de África, mientras gran parte de la producción de cultivos en el trópico latinoamericano ocurre en policultivos (**Tabla 1**). Los policultivos producen más rendimiento en un área determinada, que lo que se obtiene de los monocultivos. Los policultivos más tradicionales exhiben valores LER (Land Equivalent Ratio: Uso equivalente de la tierra) mayor de 1.5. Además, la variabilidad de rendimiento de policultivos de cereal/leguminosas es inferior a la variabilidad de los monocultivos correspondientes. (**Tabla 2**).

**Tabla 1. Preponderancia de policultivos en los países latinoamericanos**

País	Cultivo dominante	Porcentaje del cultivo sembrado en policultivos
Brasil	Maíz	11
Colombia	Arroz	6
República Dominicana	Maíz	40
Guatemala	Frijol	73
México	Maíz	20
Paraguay	Frijol	33
	Maíz	10
	Camote	10
Venezuela	Arroz	16
	Maíz	33
	Frijol	20
	Yuca	20
	Algodón	50

Modificado después de Francis, 1986

**Tabla 2. Coeficiente de variabilidad de rendimientos registrados en diferentes sistemas de cultivo durante tres años en Costa Rica**

Sistemas de cultivo	Monocultivo	Policultivos
Yuca/frijol	33.04	27.54
Yuca/maíz	28.76	18.09
Yuca/camote	23.87	13.42
Yuca/maíz/camote	31.05	21.44
yuca/maíz/frijol	25.04	14.95

Fuente: Francis, 1986

Muchos agroecosistemas tradicionales se ubican en centros de diversidad de cultivos, por lo tanto contienen poblaciones adaptadas y variables incluyendo parientes de cultivos silvestres. Se estima que a lo largo del Tercer Mundo aún se pueden encontrar más de 3000 granos nativos, raíces, frutas y otras plantas alimenticias (Altieri y Merrick, 1987). Así, los agroecosistemas tradicionales constituyen esencialmente reservas *in situ* de diversidad genética (Altieri *et al.*, 1987). Abundan las descripciones respecto a los sistemas en los que los agricultores tropicales siembran múltiples variedades de cada cultivo, proporcionando diversidad intra e inter específica, mejorando así la seguridad de las cosechas. Por ejemplo, en los Andes los agricultores cultivan tanto como 50 variedades de papa en sus campos (Brush *et al.*, 1981). En forma similar, en Tailandia e Indonesia, los agricultores mantienen una diversidad de variedades de arroz en sus campos los cuales están adaptados a una amplia gama de condiciones ambientales y regularmente intercambian semillas con sus vecinos (Grigg, 1974).

Muchos agroecosistemas tropicales consisten en campos agrícolas y terrenos en barbecho, huertos familiares complejos y parcelas agroforestales que comúnmente contienen más de 100 especies de plantas que proporcionan materiales de construcción, leña, herramientas, medicinas, forraje y alimento humano. Los huertos familiares en México y en el Amazonas consisten en formas altamente eficientes del uso de la tierra incorporando una variedad de cultivos con diferentes hábitos de crecimiento. El resultado es una estructura similar a un bosque tropical, con diversas especies y una configuración en estratos (Brookfield y Padoch, 1994). La **Tabla 3** presenta una lista de los sistemas agroforestales más comunes en Latinoamérica.

Tabla 3. Principales sistemas agroforestales de América Latina

Tipos de sistema	Ejemplos	Países típicos
<b>A. Sistemas agrosilvo-culturales</b>		
A.1. taungya	<i>Cordia alliodora</i> + maíz, frijol o arroz <i>Caesalpinia velutina</i> + maíz <i>Gmelina arborea</i> + maíz y frijol	Amazonía brasileña Guatemala México
A.2. Árboles que promadera con cultivos anuales intercalados	<i>Pinus ellioti</i> + soya o maíz <i>Populus</i> spp. + maíz o papa <i>Inga</i> spp. + arroz o plátano <i>Eucalyptus</i> spp. + maíz <i>Cedrela adorata</i> + maíz, arroz o caña de azúcar <i>Spondia mombin</i> o <i>Swietenia macrophylla</i> + maíz, frijol o arroz	Argentina Argentina Brasil Brasil Colombia México
A.3. Cultivos anuales con árboles frutales	Cidra, manzanas, papayas, mangos, etc. + cultivos anuales	México
A.4. Árboles con cultivos bajo sombra	<i>Erythrina</i> spp., <i>Inga</i> spp. <i>Albizzia carbonaria</i> , <i>Cordia alliodora</i> , etc., + café y plátano	Colombia, Costa Rica, y Ecuador
A.5. Cercos vivos o cortinas rompevientos	<i>Gliricidia sepium</i> , <i>Erythrina abissinica</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , etc. Alrededor de los cultivos	Chile, Argentina y Uruguay
<b>B. Sistemas agrosilvo-pastoriles</b>		
B.1. Cultivos y animales dentro de plantaciones forestales	<i>Pinus caribae</i> + ovejas o maíz aves de corral + sorgo, maíz, yuca o maní	Venezuela, República Dominicana
B.2. Cercos vivos alrededor de comunidades rurales	<i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Cedrela adorata</i> , <i>Bromissum alicastrum</i>	Cuba, México
B.3. Huertas familiares	Varios árboles, cultivos y mezclas de animales	República Dominicana México, Cuba, Haití

(continúa en la página siguiente)

**Tabla 3. Principales sistemas agroforestales de América Latina** (continuación)

Tipos de sistema	Ejemplos	Países típicos
<b>C. Sistemas silvopastoriles</b>		
C.1. Animales que pastan o producción de forraje bajo árboles	<i>Populus</i> sp. + <i>Bromus unioloides</i> o <i>Trifolium</i> sp. <i>Pinus caribea</i> + <i>Anchrus</i> sp. <i>Pinus</i> sp. o <i>Populus</i> sp. + ovejas	Argentina Brasil Chile
C.2. Animales que pastan o producción de forraje dentro de bosques secundarios	<i>Prosopis flexuosa</i> y <i>Aspidosperma</i> sp. con pastura natural El bosque secundario con cobertura de <i>Bromissum alicastrum</i>	Argentina México
C.3. Producción de madera comercial con pasturas	<i>Alnus acuminata</i> + <i>Pennisetum clandestinum</i>	Costa Rica
C.4. Árboles de sombra dentro de pasturas	<i>Alnus jorullensis</i> + <i>P. clandestinum</i> <i>Prosopis</i> sp., <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Cercidium</i> sp. como sombra en pasturas	Colombia México
C.5. Árboles y arbustos forrajeros	<i>Prosopis</i> spp. y <i>P. juliflora</i> para cabras <i>Bromissum alicastrum</i> para pastoreo	Colombia México

Existen pequeñas áreas alrededor de los hogares de muchos campesinos que comúnmente tienen un promedio de entre 80 y 125 especies de plantas útiles, muchas dedicadas a la alimentación o el uso medicinal (Toledo *et al.*, 1985; Alcron, 1984). Los árboles frutales constituyen una característica sobresaliente de la mayoría de los huertos (Marten, 1986). En alguna de las áreas más húmedas, hay tantos tipos diferentes de árboles y cultivos en los huertos, que éstos parecen más un bosque tropical que un jardín (Clarke y Thaman, 1993). Los huertos más diversos son en realidad una colección de plantas domésticas y semi-domésticas con una variedad de usos que incluyen alimentación, combustible, materiales de construcción, hierbas medicinales, decoración y sombra (**Tabla 4**). Los huertos están en continua producción todo el año y son fáciles de manejar en forma intensiva al estar tan convenientemente cerca de la casa. Estos pueden ser fertilizados con desperdicios de la cocina, reciben riego suplementario con agua de pozo y son atendidos por mujeres y niños en sus tiempos libres.



**Tabla 4. Funciones ecológicas y culturales y usos de árboles en América Latina**

<b>Ecológicas</b>		
Sombra	Mejoramiento del suelo	Hábitat animales/plantas
Control de erosión	Protección contra heladas	Control de inundación/ escurrimiento
Protección de viento	Alimento fauna silvestre	Control de plagas y enfermedades
<b>Cultural/Ecológico</b>		
Madera (comercial)	Escoba	Apuntalamiento o protector de plantas
Madera (subsistencia)		Materia de fibra textil
Madera (combustible)		Materias suplementarias
Construcción de bote (canoas)		Iluminación/antorchas
Velas	Aislamiento	
Herramienta	Decoración	
Armas/caza	Decoración del cuerpo	Té/café
Contenedores	Cordaje/atadura	Bebidas no alcohólicas
Madera labrada	Gomas/adhesivos	Bebidas alcohólicas
Artesanías	Relleno	Estimulantes
Equipo de pesca	Fibras/telas	Narcóticos
Flotadores	Tinturas	Almácigos
Juguetes	Artículos plegables	Ablandador de carnes
	Sombreros, esteras	Preservadores, medicinas
Cepillo/brocha de pintura	Canastas	Afrodisíacos
Instrumentos musicales	Productos comerciales/ exportación	Control de la fertilidad
Jaulas/perchas		Abortivos
Taninos	Intercambio ritual	Esencia de perfumes
Jebes, gomas	Veneno	Recreación
Aceites	Repelentes de insectos	Mágico/religioso
Cepillo de dientes	Desodorante	Tótems
Papel higiénico	Embalsamar cuerpos	Objetos de mitología
Leña		Lugares para reuniones

Fuente: Clarke y Thanam, 1984

#### LA INTERFASE DE LOS AGROECOSISTEMAS TRADICIONALES Y LAS ÁREAS NATURALES

La mayoría de los estudios sobre la agricultura tradicional antes mencionados se han enfocado en las unidades productivas donde se siembran los cultivos. Esta visión limitada de los agroecosistemas campesinos ignora el hecho que muchos campesinos utilizan, mantienen y preservan, dentro de o adyacente a sus propiedades, áreas de ecosistemas naturales (bosques, faldas de colinas, lagos, campos de pastoreo, caminos de ríos, pantanos, etc.) que contribuyen con suplementos alimenticios valiosos, materiales de construcción, medicinas, fertilizantes orgánicos, combustibles, artículos religiosos, etc., (Toledo *et al.*, 1985). En efecto, las unidades de producción de cultivos y ecosistemas adyacentes constituyen un *continuum* donde la cosecha de plantas silvestres, pesca, la caza y la producción de cultivos ocurren en forma activa.

Para muchas sociedades campesinas, la agricultura es considerada una parte de un sistema más amplio de uso de la tierra. Por ejemplo, para los indígenas P'urhepecha quienes viven en la región del lago Pátzcuaro en Michoacán, México, además de la agricultura, la cosecha silvestre forma parte de un complejo modelo de subsistencia basado en múltiples usos de los recursos naturales (Caballero y Mapes, 1985). Esta comunidad usa más de 224 especies de plantas silvestres vasculares nativas y naturalizadas para sus necesidades familiares, de dieta, medicina y combustible. En forma similar, los indígenas Jicaque de Honduras Central, quienes viven en la reserva Montaña de la Flor, usan más de 45 especies de plantas provenientes del bosque pino/roble y hábitat ribereños, como alimentos, medicinas, combustible, etc. Los Jicaque cultivan maíz usando técnicas de roza, tumba y quema. Los campos cultivados son ampliamente espaciados a través del bosque y cuando van de un campo al siguiente, los Jicaque usualmente recogen plantas silvestres alimenticias a lo largo del camino para ser añadidas a las ollas de cocina de las familias (Lentz, 1986).

Las interfases entre ecosistemas naturales y agrícolas son de importancia significativa, ya que los agricultores obtienen servicios ecológicos generales a partir de la vegetación natural que crece cerca de sus propiedades. Por ejemplo, en muchas zonas de tierras altas en Centroamérica, la flora indígena de los bosques altos, no sólo proporciona plantas nativas valiosas para el comercio y productos de subsistencia, sino que sirven como barreras naturales a los cultivos de las tierras bajas en contra de la diseminación de enfermedades e insectos plaga. También el localizar parcelas agrícolas pequeñas en una matriz de vegetación de bosques secundarios permite la emigración fácil de enemigos naturales de los insectos plaga de la selva hacia los cultivos (Altieri, 1984).

En Guatemala Occidental, los pequeños agricultores dependen de los bosques cercanos para manejar suelos infértiles y marginales. El mantillo del bosque se colecta y luego se esparce cada año sobre las parcelas cultivadas intensivamente con hortalizas, para mejorar la estructura y la retención de agua. Los desechos son rastrillados, colocados en bolsas o redes y llevados a los campos por hombres, caballos o en camiones desde lugares más distantes. Después de esparcir los desechos de las hojas, se trabajan en el suelo con un azadón ancho. En algunos casos, el desecho es colocado primero bajo animales de establo, y entonces, después de una semana o más la mezcla de hojas pulverizadas, el estiércol y el orín son esparcidos sobre los campos e incorporados al suelo. Aunque las cantidades varían, los agricultores en Almolonga, Zunil y Quetzaltenango aplican unas 40 toneladas métricas de basura/ha cada año. Cálculos aproximados hechos en bosques mixtos de pino-roble, indican que una hectárea de tierra cultivada requiere la producción de mantillo de 10 ha de bosques (Wilken, 1987).

#### ESTUDIO DE CASO DE UN SISTEMA AGRÍCOLA TRADICIONAL MULTIFUNCIONAL

Un estudio conducido en una comunidad nativa Totonaca de la región de Papantla en el estado de Veracruz (México), ilustra un caso de estrategia campesina de uso múltiple de ecosistemas tropicales húmedos. La comunidad involucra 166 caseríos totalizando una población de 877 habitantes y compartiendo un territorio de 15 a 17 hectáreas. La mayoría de los caseríos (72%) tiene entre 7 y 9 hectáreas, mientras que sólo el 9% posee más de nueve hectáreas y 19% menos de siete hectáreas. La mayoría de estos caseríos también manejan de 3 a 9 unidades ecogeográficas o paisajes donde ellos implementan la estrategia de uso múltiple. Las principales unidades que cada familia administra durante la producción son: milpa (campos de maíz), pastizales, huertos familiares, bosques húmedos para la producción de vainilla, para extraer madera y otros productos, y áreas de cultivos comerciales. (**Figura 2**).

Usando casi exclusivamente su propia energía física (con escaso, casi inexistente uso de fertilizantes químicos), utilizando pocos insumos externos y basándose en la labor familiar o comunitaria, las unidades productivas de esta comunidad nativa son autosuficientes en términos de alimentación, usan eficientemente la energía, no generan desperdicios y mantienen un alto nivel de agrobiodiversidad (con 355 especies de plantas, animales y hongos). A esto debería agregarse el hecho de que la comunidad es económicamente rentable como resultado de la venta de maíz, carne de res, leche, legumbres, fruta, vainilla, azúcar rubia, hojas de palma y otros productos (Toledo, 1995).

	A	B	C	D	E	F
Milpa	2.1	2.7	—	2.4	2.7	2.8
Cultivos comerciales	0.3	0.8	0.7	0.4	0.9	0.2
Potreros	2.5	—	3.7	2.1	—	3.8
Vainillales	—	—	—	1.1	1.3	2.3
Selvas secundarias	2.8	2.9	—	2.0	2.5	—
Huertos familiares	X	X	X	X	X	X
Familias (%)	28.9	23.5	15.6	11.0	9.7	9.0

**Figura 2.** Seis patrones de uso de seis unidades de paisaje entre familias de la comunidad de Plan Hidalgo. Las cifras indican al indígena, el número promedio de hectáreas por unidad de paisaje y el porcentaje de familias que adopta cada patrón.

#### NATURALEZA Y FUNCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA

Hoy, los científicos en el mundo entero están comenzando más y más a reconocer el papel e importancia de la biodiversidad en el funcionamiento de los sistemas agrícolas (Swift *et al.*, 1996). Las investigaciones sugieren que mientras en los ecosistemas naturales la regulación interna de su funcionamiento es un producto de la biodiversidad de plantas a través de flujos de energía y nutrientes y a través de sinergias biológicas, esta forma de control se pierde progresivamente bajo la intensificación y simplificación agrícola, de manera que los monocultivos, para funcionar, deben ser predominantemente subsidiados

con insumos químicos (Swift *et al.*, 1996). La preparación comercial de semilla en almácigos y la siembra mecanizada reemplazan a los métodos naturales de dispersión de las semillas, los plaguicidas químicos reemplazan a los controles naturales de poblaciones de malezas, insectos y patógenos; y la manipulación genética reemplaza al proceso natural de evolución y selección de plantas. Hasta la descomposición es alterada desde que las plantas son cosechadas y la fertilidad del suelo es mantenida, no a través del reciclado de nutrientes, sino con fertilizantes.

Una de las razones más importantes para mantener o estimular la biodiversidad natural es que ésta realiza una variedad de servicios ecológicos (Altieri, 1991). En ecosistemas naturales, la cubierta vegetal de un bosque o una pradera natural previene la erosión del suelo, reaprovisiona el agua en el suelo y controla las inundaciones mejorando la infiltración y reduciendo el escurrimiento del agua. En los sistemas agrícolas, la biodiversidad proporciona servicios al ecosistema más allá de la producción de alimento, fibra, combustible e ingresos. Los ejemplos incluyen, el reciclado de nutrientes, el control de microclimas, la regulación de procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos indeseables y la desintoxicación de químicos nocivos. Estos procesos de renovación de los servicios del ecosistema son en su mayoría biológicos, por lo tanto su persistencia depende del mantenimiento de la biodiversidad. Cuando estos servicios naturales se pierden debido a la simplificación biológica, los costos económicos y ambientales pueden ser bastante altos. Económicamente en agricultura, los costos incluyen la necesidad de abastecer los cultivos con insumos externos caros, ya que los agroecosistemas, privados de los componentes funcionales de regulación básica, carecen de la capacidad para proteger la propia fertilidad de su suelo y la regulación de las plagas. En la medida que la biodiversidad funcional disminuye, la necesidad de un manejo intensivo aumenta, de manera que los monocultivos deben ser subsidiados con insumos externos (**Figura 3**). A menudo, el costo involucra una reducción en la calidad del alimento producido y de la vida rural en general debido a la disminución de la calidad del suelo y agua, la erosión y la contaminación por plaguicidas o nitratos (Altieri, 1995).

La biodiversidad se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos existentes que interactúan dentro de un ecosistema. En los agroecosistemas, los polinizadores, los enemigos naturales, las lombrices y los microorganismos del suelo son todos componentes claves de la biodiversidad que juegan roles ecológicos importantes en procesos tales como introgresión genética, control natural de plagas, ciclo de nutrientes, descomposición, etc., (**Fi-**

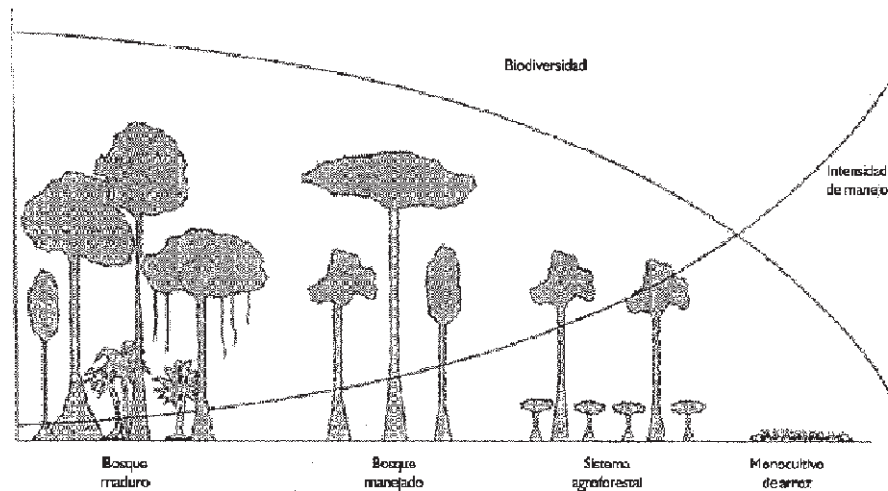
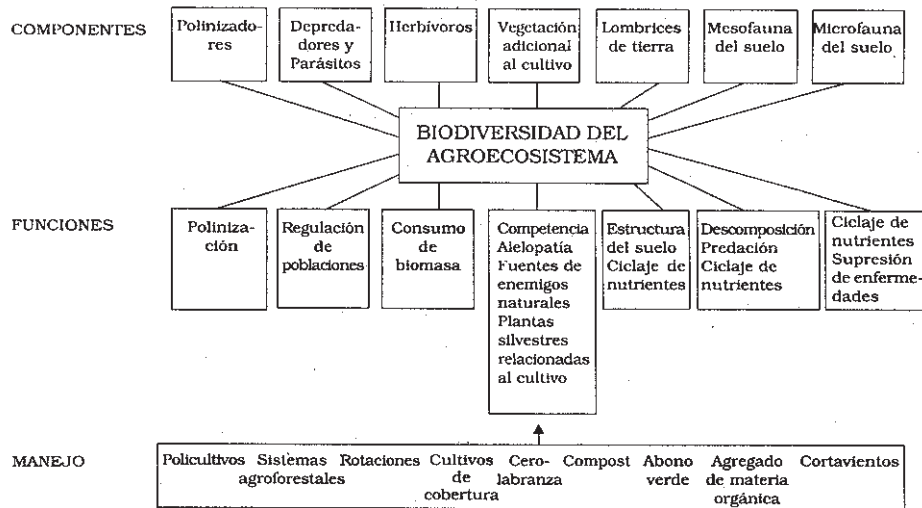


Figura 3. La relación entre la intensidad de manejo y la biodiversidad en ecosistemas

gura 4). El tipo y abundancia de biodiversidad en la agricultura difiere en agroecosistemas de acuerdo a la edad, diversidad, estructura y manejo de éstos. En efecto, hay una gran variabilidad en los patrones ecológicos y agronómicos entre los diversos agroecosistemas dominantes. En general (Southwood y Way, 1970), el grado de biodiversidad en los agroecosistemas depende de cuatro características principales de los agroecosistemas :

1. La diversidad de la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema.
2. La durabilidad de varios cultivos dentro del agroecosistema.
3. La intensidad del manejo.
4. La distancia de separación del agroecosistema con la vegetación natural.

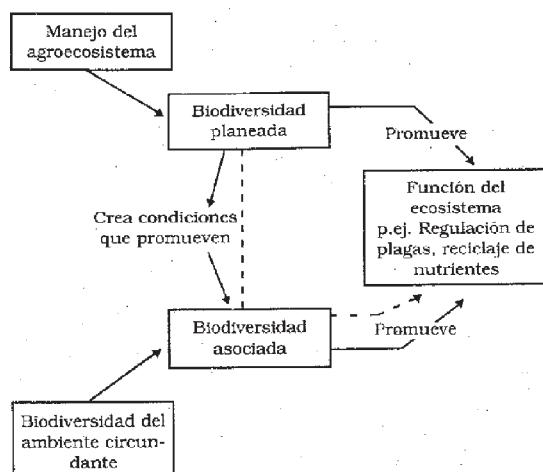
Los agroecosistemas que son más diversos, más permanentes, aislados y manejados con aportes tecnológicos bajos (p. ej. sistemas agroforestales, policultivos tradicionales) toman ventaja del trabajo hecho por procesos ecológicos asociados que los sistemas altamente simplificados y manejados con altos niveles de insumos (p. ej. monocultivos de cultivos y huertos frutales) (Altieri, 1995).



**Figura 4.** Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas (según Altieri, 1991).

Todos los agroecosistemas son dinámicos y sujetos a diferentes niveles de manejo y los arreglos de cultivos en el tiempo y en el espacio cambian continuamente frente a factores biológicos, culturales, socioeconómicos y ambientales. Tales variaciones en el paisaje determinan el grado de heterogeneidad espacial y temporal característica de regiones agrícolas, la que a la vez condiciona el tiempo de biodiversidad presente.

Según Vandermeer y Perfecto (1995), se pueden distinguir dos componentes distintos de biodiversidad en los agroecosistemas. El primer componente, la biodiversidad planificada, es la biodiversidad asociada con los cultivos y el ganado intencionalmente incluido en el agroecosistema por el agricultor, que puede variar dependiendo del manejo y los arreglos espacio/temporales de los cultivos. El segundo componente, biodiversidad asociada, incluye toda la flora y fauna del suelo, los herbívoros, carnívoros, microorganismos descomponedores, etc., que colonizan el agroecosistema desde ambientes circundantes y que permanecen en el agroecosistema dependiendo del tipo de manejo. La relación entre ambos componentes de la biodiversidad se ilustra en la **Figura 5**. La biodiversidad planificada tiene una función directa, como está ilustrado por la flecha que conecta la caja de biodiversidad planificada con la caja de función del

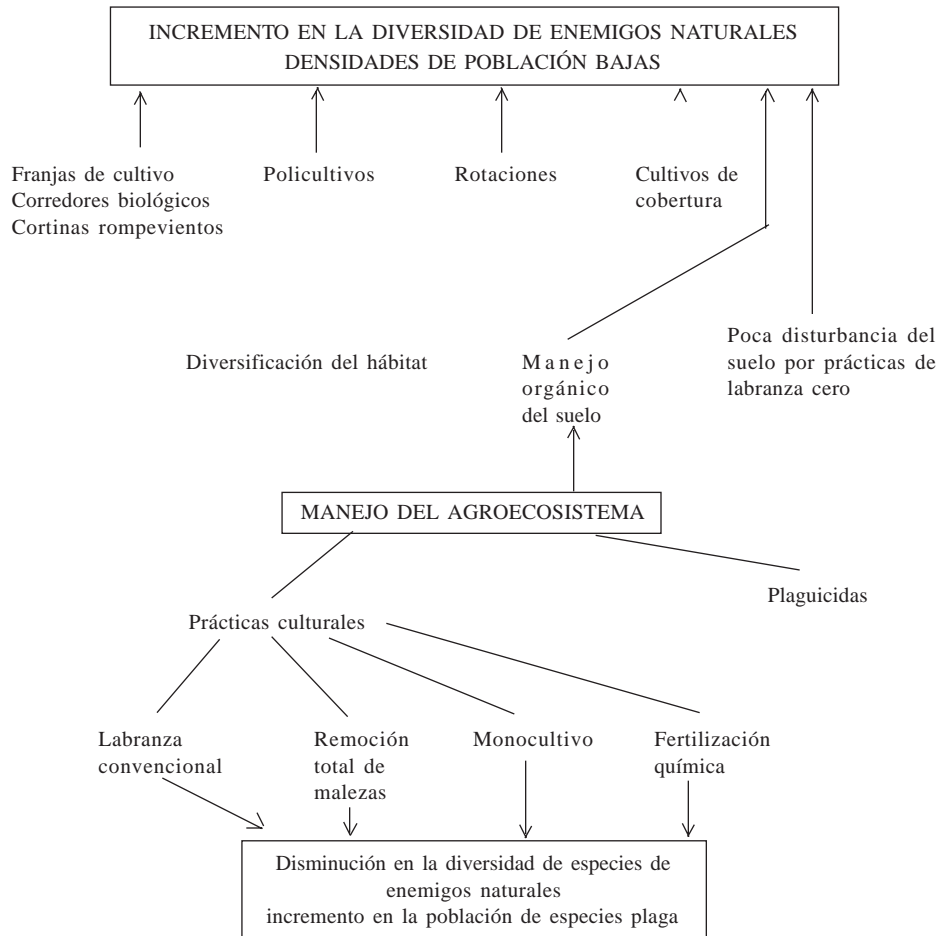


**Figura 5.** Relación entre los varios tipos de biodiversidad y el funcionamiento de agroecosistemas.

ecosistema. La biodiversidad asociada también tiene una función, pero es mediada a través de la biodiversidad planificada. Así, la biodiversidad planificada también tiene una función indirecta, ilustrada por la flecha punteada en la figura, la que se hace notar mediante su influencia sobre la diversidad biológica asociada. Por ejemplo, los árboles en un sistema agroforestal crean sombra, la cual hace posible crecer cultivos que toleran poco el sol. Por lo tanto, la función directa de los árboles es crear sombra. Junto con los árboles pueden venir avispas pequeñas que utilizan el néctar de las flores de los mismos. Estas avispas pueden a la vez ser parásitos naturales de plagas que normalmente atacan a los cultivos. Las avispas son parte de la biodiversidad asociada. Los árboles, entonces, crean sombra (función directa) y atraen avispas (función indirecta) (Vandermeer y Perfecto, 1995).

La clave es identificar el tipo de biodiversidad que se desea mantener o mejorar de modo que se efectúen servicios ecológicos, y así definir las mejores prácticas que fomentan los componentes de biodiversidad deseados. Como se muestra en la **Figura 6**, hay muchas prácticas agrícolas que tienen la potencialidad de mejorar la biodiversidad funcional y otras que lo afectan negativamente. La idea es aplicar las mejores prácticas de manejo a fin de mejorar o regenerar el tipo de biodiversidad que pueda subvencionar el mantenimiento de los agroecosistemas, proporcionando servicios ecológicos tales como: control biológico de plagas, reciclaje de nutrientes, conservación de suelo y agua, etc.





**Figura 6.** Efectos del manejo del agroecosistema y prácticas culturales asociadas con diversidad de enemigos naturales y abundancia de insectos plaga

#### EL NEXO ENTRE AGROBIODIVERSIDAD Y MULTIFUNCIONALIDAD

Cuando el desarrollo agrícola tiene lugar en un ambiente natural, tiende a resultar en un mosaico heterogéneo de diversos tipos de hábitat/parcelas que se esparcen a través del paisaje. La mayor parte de la tierra puede ser intensamente manejada y frecuentemente perturbada para los propósitos de producción agrícola, pero ciertas partes (tierras húmedas, corredores ribereños, laderas) pueden

ser ocasionalmente perturbadas pero no intensamente manejadas. Además, ecosistemas naturales pueden rodear o bordear áreas en las cuales predomina la producción agrícola (Gliessman, 1998).

La heterogeneidad del paisaje agrícola varía mucho en cada región. En algunas partes de América Latina, donde predomina la agricultura comercial de exportación, el uso intensivo de agroquímicos, la tecnología mecánica, las variedades genéticamente homogéneas y la irrigación sobre áreas grandes han tornado los paisajes relativamente homogéneos. En tales áreas, el paisaje agrícola está constituido principalmente de grandes áreas de producción agrícola de un cultivo único. La expansión de tales paisajes agrícolas desorganiza las áreas naturales de tres maneras importantes. Primero, los ecosistemas naturales llegan a ser fragmentados e importantes enlaces ecológicos pueden ser cambiados o desligados. Por ejemplo, la conversión de laderas o bosque deciduo a algodón en tierras altas, afectará profundamente los aportes de nutrientes y plaguicidas a tierras húmedas bajas adyacentes. Segundo, la fragmentación aumenta los fenómenos de borde incrementando la proporción de área que está cerca del mismo. Esto resulta en una exacerbación de los impactos de la agricultura adyacente, especialmente si ésta es intensiva. Tercero, la pérdida absoluta de áreas naturales generalmente significa que las parcelas restantes son cada vez más distantes una de otra. Así cada remanente toma más y más las propiedades de islas oceánicas en el sentido que estas parcelas son muy distantes de áreas de recolonización. Así, los sucesos de extinción local para especies y genes son incapaces de ser equilibrados por recolonización o flujos de genes. Estas parcelas remanentes de los ecosistemas naturales son muy vulnerables a la invasión por animales y plantas desde tierras agrícolas circundantes y también a las perturbaciones creadas por las prácticas de producción agrícola (Fry, 1995).

En áreas dominadas por campesinos, el uso de las prácticas tradicionales de cultivo con aportes industriales mínimos ha creado un paisaje altamente variado y heterogéneo posiblemente aún más heterogéneo que el que existiría naturalmente. En tales ambientes heterogéneos, las parcelas remanentes de ecosistemas naturales y seminaturales incluidas en el paisaje pueden convertirse en un recurso para los agroecosistemas. Un área de hábitat no cultivado adyacente a un campo de cultivo, por ejemplo, puede albergar poblaciones de enemigos naturales, los cuales pueden mudarse al campo y parasitar o apresar a las poblaciones de plagas (Altieri, 1994). Un corredor ribereño vegetado por especies de plantas nativas puede filtrar nutrientes disueltos provenientes de los campos cultivados, promover la presencia de especies benéficas y permitir el movimiento de especies animales nativas entre los componentes agrícolas del paisaje.

Por otra parte, los agroecosistemas pueden comenzar a asumir un papel positivo más que negativo en la conservación de la integridad de los ecosistemas naturales. Muchos agroecosistemas diversificados de pequeña escala han sido diseñados y manejados de manera amistosa para las especies nativas. Por ejemplo, cercos vivos proveen a los vertebrados de hábitat, mejores fuentes alimenticias y pasillos para el movimiento. Las plantas nativas pueden encontrar hábitats más convenientes y menos barreras para su dispersión. Los organismos menores, tales como los microorganismos del suelo y los insectos, pueden incrementarse en suelos manejados orgánicamente y beneficiar a otras especies al cumplir su función reguladora en el ecosistema (Glissman, 1998).

Manejar paisajes agrícolas desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad así como también de la producción sustentable, puede incrementar la capacidad de uso múltiple de la agricultura (Thrupp, 1998), proporcionando varios beneficios en forma simultánea:

- a) aumento de la productividad agrícola;
- b) mejora la estabilidad, robustez y sustentabilidad de los agroecosistemas;
- c) contribuye al manejo armónico de plagas y enfermedades;
- d) conserva el suelo y aumenta la fertilidad y salud del suelo natural;
- e) diversifica las oportunidades de ingreso y productos de las granjas;
- f) agrega valor económico y aumenta el retorno neto de las granjas;
- g) reduce riesgos para los individuos, comunidades y naciones;
- h) aumenta la eficiencia del uso de recursos locales y restaura la salud ecológica;
- i) reduce la presión de la agricultura sobre áreas frágiles, bosques y especies en peligro;
- j) reduce la dependencia de insumos externos, y
- k) aumenta los valores nutritivos y provee fuentes de medicinas y vitaminas.

Los efectos de la agrodiversidad en la mitigación de los efectos climáticos extremos, tales como la sequía promovida por El Niño fueron recientemente evidentes en el norte de Honduras. Un proyecto agroforestal orientado a revivir el método Quezungal, un antiguo sistema de agricultura, evitó que se destruyeran aproximadamente 84 comunidades agrícolas. Los agricultores que utilizaron este método perdieron sólo el 10 por ciento de sus cultivos en la severa sequía de 1998 y obtuvieron un excedente de grano de 2 mil 200 a 2 mil 700 toneladas después del paso del huracán Mitch. Por otro lado, las comunidades

cercanas que continuaron con el uso del talado y la quema, fueron severamente afectadas por el fenómeno El Niño, el cual dejó un legado de miseria humana y destrucción de cuencas de vital importancia.

Los programas de agroforestería que reducen la deforestación y la quema de biomasa vegetal actúan como sumideros para el dióxido de carbono atmosférico y también reducen considerablemente las emisiones de óxido salitroso. Investigaciones recientes muestran que promoviendo técnicas ya familiares para millares de pequeños agricultores en América Latina, tales como rotación de cultivos y reducción del uso de fertilizantes químicos mediante el uso de compost pueden actuar como sumideros importantes para el dióxido de carbono atmosférico almacenándolo bajo la superficie del suelo.

Los beneficios de la agrobiodiversidad en el incremento de la multifuncionalidad de la agricultura, se extienden más allá de los efectos descritos arriba, como lo demuestra los impactos de las granjas de café bajo sombra en América Latina. Los cafetaleros típicamente integran en sus granjas diferentes árboles leguminosos, árboles frutales y tipos de forraje y madera para combustible. Estos árboles proveen sombra y un hábitat adecuado para pájaros y animales que benefician el sistema de cultivo. En México, las plantaciones de café bajo sombra sustentan hasta 180 especies de pájaros, incluyendo especies migratorias, algunas de las cuales juegan papeles clave en el control de plagas y la dispersión de semillas.

Aprender a manejar una agricultura que promueva las funciones productivas así como también ambientales requerirá los aportes de disciplinas no explotadas anteriormente por los científicos, incluyendo la agroecología, etnología, biología de la conservación y ecología del paisaje. El resultado final, sin embargo, es que en la agricultura se deben adoptar prácticas ecológicas de manejo, incluyendo sistemas de cultivo diversificado, control biológico y manejo orgánico del suelo para reemplazar el uso de plaguicidas sintéticos, fertilizantes y otros químicos. Sólo con este fundamento científico se podrá lograr la meta de crear una agricultura multifuncional.

#### BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE PLAGAS

En ninguna parte son más evidentes las consecuencias de la reducción de la biodiversidad que en el ámbito del manejo de plagas agrícolas. La inestabilidad de los agroecosistemas se pone de manifiesto, cuando el empeoramiento de los problemas de insectos plaga se vincula cada vez más a la expansión de los mo-

nocultivos a expensas de la vegetación natural, de modo que decrece la diversidad de los hábitat locales (Altieri y Letourneau, 1982). Las comunidades de plantas que son modificadas para suplir las necesidades especiales de los humanos son sujetas al daño severo de plagas. En general mientras tales comunidades sean modificadas más intensamente, más abundantes y serias serán las plagas. Los efectos de la reducción de la diversidad de cultivos sobre los brotes de plagas de herbívoros y patógenos están bien documentados en la literatura agrícola (Andow, 1991; Altieri, 1994). Esta drástica reducción en la diversidad de plantas y los efectos epidémicos resultantes, pueden afectar adversamente la función del ecosistema con consecuencias adicionales en la sustentabilidad y productividad agrícola.

En los ecosistemas modernos, la evidencia experimental sugiere que la biodiversidad puede usarse para mejorar el manejo de plagas (Altieri y Letourneau, 1994; Andow, 1991). Varios estudios han mostrado que es posible estabilizar las comunidades de insectos de los agroecosistemas diseñando y construyendo arquitecturas vegetacionales que sustenten poblaciones de enemigos naturales o que tengan efectos disuasivos directos sobre los herbívoros. Por ejemplo, a nivel del paisaje, hay evidencias que demuestran la existencia de un aumento de enemigos naturales y un control biológico más efectivo donde la vegetación silvestre continúa en los bordes del campo y en asociación con los cultivos (Altieri, 1994). Estos hábitat pueden ser importantes como lugares de hibernación para los predadores y parasitoides o también pueden proporcionar recursos alimenticios, tal como polen y néctar para una variedad de enemigos naturales (Landis, 1994). Muchos estudios han documentado el movimiento de los artrópodos benéficos desde los márgenes hasta los cultivos y el control biológico es comúnmente mayor en los cultivos cercanos a los bordes de vegetación silvestre que en campos aislados de tales hábitat (Altieri, 1994).

En muchos casos, las malezas y otra vegetación natural alrededor de los campos de cultivo albergan hospederos y presas alternativas para enemigos naturales, así proveen recursos estacionales para llenar brechas en los ciclos de vida de insectos entomófagos y plagas (Altieri y Letourneau, 1984). Un caso clásico es el del parasitoide *Anagrus epos* cuya eficacia en regular al cicadélido de la uva *Erythroneura elegantula* se incrementó significativamente en viñedos cerca de las áreas invadidas por la zarzamora silvestre (*Rubus* sp). Esta planta sustenta un cicadélido alternativo (*Dikrella cruentata*) que se cría en sus hojas en el invierno. Estudios recientes muestran que los huertos de ciruela francesa adyacentes a los viñedos proveen refugios de invierno para *Anagrus* y los beneficios de un parasitismo temprano son promovidos con árboles de ciruelo alrededor.

A nivel de campo de cultivo, la mayoría de los experimentos que han mezclado otras especies de plantas con el cultivo primario de un herbívoro especializado muestran que en comparación con los sistemas de cultivo diversificados, los monocultivos exhiben mayores densidades de población de herbívoros especializados (Andow, 1991). En estos sistemas de monocultivos, los herbívoros experimentan mayor colonización, mayor reproducción, menor interrupción de búsqueda del cultivo y menor mortalidad por enemigos naturales (ver **Tabla 5** para ejemplos en América Latina).

**Tabla 5. Ejemplos seleccionados de sistemas de cultivo múltiple que efectivamente previene de brotes de insectos plaga**

Sistemas de cultivo múltiple	Plagas (reguladas)	Factores involucrados	País
Intercultivo de yuca con frijol	Mosca blanca <i>Aleurotrachelus socialis</i> y <i>Trialeurodes variabilis</i>	Cambios en el vigor de la planta e incremento de enemigos naturales	Colombia
Maíz intercaldo con frijol	Cicadélidos ( <i>Empoasca kraemeri</i> ), escarabajo de hoja ( <i>Diabrotica balteata</i> ) y gusanos de otoño ( <i>Spo-doptera frugiperda</i> )	Aumento de insectos benéficos e interferencia con la colonización	Colombia
Maíz intercalado con frijol	Cicadélido de maíz ( <i>Dalbulus maidis</i> )	Interferencia con el movimiento del cicadélido	Nicaragua
Pepinos intercalados con maíz y brócoli	Pulguillas ( <i>Acalymma vitata</i> )	Menor apariencia del cultivo	Costa Rica
Maíz/frijol/calabaza	Oruga ( <i>Diaphania hyalinata</i> )	Incrementa el parasitismo	México
Maíz/frijol	Taladro de tallo ( <i>Diatraea lineolata</i> )	Mejora la depredación	Nicaragua

Alternativamente, un cultivo en mezcla puede actuar como una trampa. Las franjas de alfalfa esparcidas en campos de algodón en California atraen y atrapan insectos *Lygus*. Hay una pérdida de rendimiento de alfalfa, pero esto representa menos del costo de los métodos alternativos de control para el algodón. En forma similar, crucíferas intersembradas con frijoles, pastos, trébol o espi-

naca sufren menos daño por el gusano del repollo y el áfido del repollo. Otro factor, como lo establece la hipótesis de enemigos naturales, es que la reducción en la incidencia de insectos plaga en policultivos puede ser el resultado del aumento de la abundancia y la eficiencia de predadores y parásitos (Altieri, 1994).

#### MEJORANDO LA PRODUCTIVIDAD Y LA MULTIFUNCIONALIDAD DE LA AGRICULTURA TRADICIONAL: PROYECTOS AGROECOLÓGICOS DE ONG

En Latinoamérica, el cambio económico promovido por la penetración de mercado y capital, está conduciendo a un quiebre ecológico que comienza a destruir la base de la agricultura tradicional. Después de crear sistemas conservadores de recursos por siglos, las culturas tradicionales en áreas tales como Mesoamérica, la Amazonía y los Andes ahora son socavados por fuerzas políticas y económicas externas. La biodiversidad está disminuyendo en las fincas, la degradación de suelo se está acelerando, las organizaciones sociales y comunitarias se están destrozando, los recursos genéticos están siendo erosionados y las tradiciones se están perdiendo. Bajo este escenario y dado las presiones comerciales y las demandas urbanas, muchos argumentan que el desempeño de la agricultura de subsistencia es insatisfactoria y que la intensificación de la producción es esencial para la transición desde la subsistencia a la producción comercial (Baluert y Zadek, 1998). En la realidad, el desafío es orientar tal transición de una forma que los rendimientos y el ingreso aumenten sin amenazar la seguridad alimentaria, o profundizar la deuda de los campesinos o exacerbar la degradación ambiental. Muchos agroecólogos argumentan que esto puede lograrse generando y promocionando tecnologías conservadoras de recursos, una fuente de las cuales son los sistemas tradicionales que el modernismo destruye (Altieri, 1991).

Tomando el conocimiento tradicional como un punto estratégico en el mundo en vías de desarrollo ha comenzado una búsqueda de alternativas agrícolas de pequeña escala que sea productiva y ecológicamente armónica. La emergencia de la agroecología estimuló a varias organizaciones no gubernamentales (ONG) y otras instituciones a buscar activamente nuevos tipos de estrategias agrícolas de gestión de recursos y desarrollo que, basadas en la participación local, habilidades y recursos, han mejorado la productividad de las pequeñas fincas mientras conservan los recursos (Thrupp, 1996). Hay centenares de ejemplos donde los productores rurales en asociación con las ONG y otras organizaciones, han promocionado e implementado proyectos de desarrollo agroecológico que incorporan elementos del conocimiento moderno y de la ciencia agrícola

tradicional implementando sistemas conservadores de recursos, tales como policultivos, sistemas agroforestales, integración de cultivos y ganado, etc.

*Estabilizando las laderas de Centroamérica*

Quizá el desafío agrícola más importante en América Latina es el de diseñar sistemas de cultivos para las áreas de ladera, que sean productivos y reduzcan la erosión. Varias organizaciones han tomado este desafío con iniciativas que enfatizan el manejo del suelo, la utilización de recursos locales y los insumos producidos *in-situ* en la finca.

Desde mediados de los años 80, la organización privada voluntaria Vecinos Mundiales (World Neighbors) ha patrocinado un programa de adiestramiento y desarrollo agrícola en Honduras, para controlar la erosión y restaurar la fertilidad de los suelos degradados. Con las prácticas de conservación del suelo introducidas –tales como zanjas de contorno y drenaje, barreras de pasto y paredes de roca– y métodos orgánicos de fertilización a base de estiércol de pollo e intercultivo con legumbres, los rendimientos se triplicaron o cuadruplicaron de 400 kilogramos por hectárea a entre 1,200 y 1,600 kilogramos, dependiendo del agricultor. Esta producción de grano triplicada por hectárea ha asegurado que las 1,200 familias que participan en el programa tengan un amplio abastecimiento de grano para el siguiente año. Consecuentemente, COSECHA, una ONG local promovió metodologías de agricultor a agricultor enfatizando la conservación de suelos y agroecología, que ayudó a 300 agricultores a experimentar con terraplenes, cultivos de cobertura y otras técnicas nuevas. La mitad de estos agricultores ha triplicado ya sus rendimientos de frijol y maíz; 35 han ido más allá de la producción esperada y están sembrando zanahorias, lechuga y otros vegetales para vender en los mercados locales. Sesenta aldeanos locales son ahora extensionistas agrícolas y 50 aldeas han pedido entrenamiento después de conocer estos impactos. Los que no tienen tierras se han beneficiado con el aumento de los jornales de 2 a 3 dólares por día en el área del proyecto. La emigración ha sido reemplazada por inmigración, ya que mucha gente se regresa desde las barriadas urbanas de Tegucigalpa para ocupar fincas y casas que ellos habían abandonado anteriormente, así ha aumentado la población de Guinope. La principal dificultad ha sido la venta de las nuevas cosechas rentables, ya que no existen las estructuras para el almacenaje de hortalizas y el transporte a áreas urbanas (Bunch, 1987).

En Cantarranas (Honduras), la adopción de frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*), que puede fijar hasta 150 kg N/ha y producir 35 toneladas de materia



orgánica al año, ha permitido a los agricultores triplicar sus rendimientos de maíz a 2,500 kg/ha. Los requerimientos de labor para el desmalezado han disminuido en 75 por ciento y los herbicidas se han eliminado por completo. El enfoque de utilizar extensionistas locales fue no solamente más eficiente y menos costoso que usar profesionales, sino que también ayudó a construir capacidad local y proveer experiencia de liderazgo a muchos agricultores (Bunch, 1990).

A lo largo de Centroamérica, CIDDICO y otras ONG han promovido el uso de leguminosas para ser usadas como abono verde, una fuente barata de fertilizante orgánico para incrementar la materia orgánica. Centenares de agricultores en la costa norte de Honduras están usando frijol terciopelo con resultados óptimos, incluyendo rendimientos de maíz de aproximadamente 3,000 kg/ha –más del doble del promedio nacional–, control de la erosión, supresión de malezas y costos reducidos de preparación de tierra. Los frijoles terciopelo producen aproximadamente 30 t/ha de biomasa al año, o aproximadamente 90-100 kg de N/ha al año (Flores, 1989). Aprovechando redes de agricultores bien establecidas, tal como el Movimiento Campesino a Campesino en Nicaragua, la diseminación de esta tecnología simple ha ocurrido rápidamente. En simplemente un año, más de 1,000 campesinos recuperaron tierras degradadas en la cuenca nicaragüense de San Juan (Holtz-Gimenez, 1996). Los análisis económicos de estos proyectos indican que los agricultores que adoptan los cultivos de cobertura han rebajado la utilización de fertilizantes químicos (de 1,900 kg/ha a 400 kg/ha) y han aumentado los rendimientos de 700 kg a 2,000 kg/ha, con costos de producción aproximadamente 22 por ciento menor que los agricultores que usan fertilizantes químicos y monocultivos (Buckles *et al.*, 1998).

Los científicos y las ONG que promueven los sistemas de *mulch* basados en el sistema tradicional «tapado», usado en las laderas de América Central, también han obtenido rendimientos incrementados de maíz y frijol (aproximadamente 3,000 kg/ha) y una reducción considerable de los aportes de labor ya que los cultivos de cobertura sofocan a las malezas agresivas, minimizando la necesidad del desyerbe. Otra ventaja es que el uso de leguminosas de cobertura resistentes a la sequía (tal como *Dolichos lablab*) proveen buen forraje para el ganado (Thurston *et al.*, 1994). Estos enfoques agroecológicos están siendo usados sobre un porcentaje relativamente pequeño de tierras, pero como sus beneficios están siendo reconocidos por otros agricultores, estos sistemas se están esparciendo rápidamente. Tales métodos tienen un fuerte potencial y ofrecen ventajas importantes para otras áreas de Centroamérica.

*La conservación de suelos en República Dominicana*

Hace varios años, el Plan Sierra, un proyecto de ecodesarrollo asumió el desafío de quebrar el nexo entre pobreza rural y degradación ambiental en la cordillera central de la República Dominicana. La estrategia consistió en desarrollar sistemas de producción alternativa para los conucos altamente erosivos usados por los campesinos locales. Controlar la erosión en la Sierra es no solamente importante para mejorar la calidad de la vida de estos agricultores, sino porque también representa un potencial hidroeléctrico y más de 50,000 hectáreas de tierras de riego adicionales río abajo, en el valle de Cibao (Altieri, 1990).

La meta principal del Plan Sierra ha sido la estrategia agroecológica, el desarrollo y difusión de sistemas de producción que proporcionan rendimientos sostenibles sin degradar el suelo para así asegurar la productividad de las fincas y la autosuficiencia alimentaria. Más específicamente, los objetivos han sido permitir que los agricultores usen más eficientemente los recursos locales tales como los nutrientes y humedad de suelo, residuos animales y vegetales, vegetación natural, diversidad genética y labor familiar. De esta manera se pretendió satisfacer las necesidades básicas familiares de alimento, leña, materiales de construcción, medicinas, ingreso y otros.

Desde un punto de vista de manejo, la estrategia consistió de una serie de métodos integrados:

1. Prácticas de conservación de suelo tales como hacer terraplenes, labranza mínima, cultivar en hilera, barreras vivas y *mulching*.
2. Uso de arbustos y árboles leguminosos tales como *Gliricidia*, *Calliandra*, *Canavalia*, *Cajanus* y *Acacia* plantados en hileras, para la fijación de nitrógeno, producción de biomasa, estiércol verde, producción de forraje y captura de sedimento.
3. Uso de fertilizantes orgánicos basados en la utilización óptima de residuos de plantas y animales;
4. Gestión y combinación adecuada de policultivos y/o rotaciones sembradas al contorno y en densidades y fechas óptimas;
5. Conservación y almacenaje de agua mediante *mulch* y técnicas de recolección de agua.

En varios conucos se integraron animales, cultivos, árboles y arbustos, dando como resultado beneficios múltiples tales como protección del suelo, producción alimentaria diversificada, leña, fertilidad mejorada del suelo y otros. Más de 2,000 agricultores han adoptado algunas de las prácticas mejoradas.

Una tarea importante del Plan Sierra fue determinar el potencial de reducción de erosión de los sistemas propuestos. Esto fue difícil porque la mayoría de los métodos disponibles para estimar la erosión no son aplicables para medir la pérdida del suelo en sistemas de cultivo manejados por campesinos pobres bajo condiciones marginales. Dada la carencia de recursos financieros e infraestructura de investigación en el Plan Sierra, fue necesario desarrollar un método simple usando estacas para estimar la pérdida del suelo en una gama de conucos incluyendo aquellos manejados tradicionalmente por los agricultores y los «mejorados», desarrollados y promovidos por el Plan Sierra.

Basándose en los datos de campo recogidos entre 1988 y 1989 sobre la estimación de erosión acumulada de tres sistemas de cultivo tradicionales y uno mejorado, los sistemas alternativos recomendados por el Plan Sierra exhibieron considerablemente menos pérdida de suelo que el cultivo tradicional, el monocultivo de yuca y *guandul*. El desempeño positivo del conuco agroecológicamente mejorado pareció relacionarse con la provisión continua de cobertura de suelo mediante policultivos, *mulching* y rotaciones, así como también el acortamiento de la pendiente y la captura del sedimento proporcionada por el cultivo en hileras y barreras vivas (Altieri, 1995).

#### *Recreando la agricultura inca*

Varios investigadores han descubierto «remanentes» de más de 170,000 hectáreas de «campos elevados» en Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia (Denevan, 1995). Muchos de estos sistemas aparentemente consistieron en campos levantados sobre tierras inundadas estacionalmente, localizadas en sabanas y en cuencas de tierras altas. En Perú, las ONG han estudiado tales tecnologías precolombinas en busca de soluciones a problemas contemporáneos de cultivos de gran altitud. Un ejemplo fascinante es el renacimiento de un sistema ingenioso de campos elevados que evolucionaron sobre las altas planicies de los Andes peruanos hace aproximadamente 3,000 años. Según evidencia arqueológica estas camas elevadas (*waru-warus*) rodeadas por zanjas llenas de agua, eran capaces de producir cosechas abundantes a pesar de las inundaciones, las sequías y las heladas comunes en altitudes de aproximadamente 4,000 metros (Erickson y Chandler, 1989).

En 1984 varias ONG y agencias estatales crearon el Proyecto Interinstitucional de Rehabilitación de Waru-warus (PIWA) para ayudar a agricultores locales en la reconstrucción de los antiguos sistemas. La combinación de canales y lechos elevados ha probado tener importantes efectos de moderación de

temperatura, extendiendo la estación de crecimiento y conduciendo a una productividad más alta en los waru-warus comparados con los suelos de pampa fertilizados químicamente. En el distrito Huatta, los campos elevados reconstruidos produjeron cosechas impresionantes, exhibiendo un rendimiento sostenible de papa de 8 a 14 t/ha/año. Estos números contrastan favorablemente con el promedio de rendimientos de papa de Puno de 1 a 4 t/ha/año. En Camjata los campos de papa alcanzaron 13 t/ha/año y los rendimientos de quinua alcanzaron 2 t/ha/año en los waru-warus. Se estima que la construcción inicial, reconstrucción cada diez años, siembra anual, desyerbe, cosecha y mantenimiento de campos elevados sembrados de papas requieren 270 personas días/ha/año. Claramente, los lechos elevados requieren de una fuerte cohesión social para llegar a cabo el trabajo cooperativo necesario en los lechos y canales. Para la construcción de los campos, las ONG organizaron la mano de obra a nivel individual, multifamiliar y comunal.

En otra parte del Perú, varias ONG en asociación con las agencias locales de gobierno, se aliaron en torno a programas cooperativos para restaurar antiguas terrazas abandonadas. Por ejemplo, en Cajamarca, en 1983, la ONG: EDAC-CIED junto con varias comunidades campesinas iniciaron un proyecto integral de conservación de suelos. Durante diez años se sembraron más de 550,000 árboles y reconstruyeron aproximadamente 850 hectáreas de terraplenes y habilitaron 173 hectáreas de canales de infiltración y drenaje. El resultado final fue de aproximadamente 1,124 hectáreas de tierra bajo construcción (más o menos 32% de la tierra arable total), beneficiando a 1,247 familias (aproximadamente 52% del total en el área). Los rendimientos de cultivos mejoraron significativamente. Por ejemplo, los rendimientos de papa pasaron de 5 t/ha a 8 t/ha y los rendimientos de oca saltaron de 3 a 8.5 ton/ha. La producción mejorada de cultivos, el engorde de ganado y la crianza de alpaca para lana, aumentó el ingreso de las familias desde un promedio de \$108 dólares al año en 1983 a más de \$500 dólares hoy (Sánchez, 1994).

En el valle del Colca, al sur del Perú, el Programa de Acondicionamiento Territorial y Vivienda Rural (PRAVATIR) patrocina la reconstrucción de andenes, ofreciendo a las comunidades campesinas préstamos de bajo interés y semillas u otros insumos para restaurar grandes áreas (de hasta 30 hectáreas) de terrazas abandonadas. Las ventajas de las terrazas son que minimizan los riesgos desde el punto de vista de heladas y sequías debido a las ventajas microclimáticas e hidráulicas de los andenes, mejorando así la productividad. Los rendimientos de las nuevas plataformas de terrazas mostraron durante el primer año un aumento del 43 al 65 por ciento de papas, maíz y cebada, comparado con

las cosechas obtenidas en campos inclinados (**Tabla 6**). La leguminosa nativa *Lupinus mutabilis* se usa como un cultivo en rotación o asociado en las terrazas; éste fija nitrógeno, el cual queda disponible para los cultivos compañeros, minimizando necesidades de fertilizantes y aumentando la producción. Una de las principales restricciones de esta tecnología es que se requiere de mucha mano de obra. Se estima que requeriría 2,000 hombres/día para completar la reconstrucción de una hectárea de terraza, aunque en otras áreas la reconstrucción ha probado ser menos intensa en mano de obra, requiriendo sólo de 300 a 500 hombres/día/ha (Treacey, 1989).

**Tabla 6. Rendimientos del primer año de cultivos en terrazas nuevas, comparados con rendimientos en campos inclinados (kg/ha)**

Cultivo <sup>a</sup>	Con terrazas	Sin terrazas <sup>b</sup>	Porcentaje de incremento	No. de terrazas <sup>c</sup>
Papas	17,206	12,206	43	71
Maíz	2,982	1,807	65	18
Cebada	1,910	1,333	43	56
Cebada (forraje)	23,000	25,865	45	159

<sup>a</sup> Todos los cultivos resistieron fertilizantes químicos

<sup>b</sup> Se ubicaron pendientes entre 20 y 50 por ciento próximas a las terrazas como control

<sup>c</sup> Número de terrazas/sitio

Fuente: Treacey, 1984

Algunas ONG también han evaluado sistemas tradicionales de cultivo por sobre los 4,000 msnm, donde la maca (*Lepidium meyenii*) es el único cultivo capaz de ofrecer a los agricultores rendimientos seguros. La investigación demuestra que la maca que crece en suelos vírgenes o barbechados entre 5 y 8 años, exhibió significativamente rendimientos más altos (11.8 y 14.6 t/ha respectivamente) que la maca que creció después de papas amargas (11.3 t/ha). Las ONG ahora aconsejan a los agricultores sembrar maca en los suelos vírgenes o en barbecho en un modelo rotativo, utilizando así áreas no convenientes para otros cultivos y aprovechar la mano de obra local y los bajos costos del sistema basado en la maca (PNUD, 1995; Altieri, 1996).

*El cultivo orgánico en los Andes*

En las tierras altas bolivianas, la producción promedio de papa está cayendo a pesar de un aumento del 15 por ciento anual en el uso de fertilizantes químicos. Debido a los aumentos en el costo de fertilizantes, los agricultores deben producir más del doble de la cantidad de papas, comparada con años previos, para comprar la misma cantidad de fertilizantes importados (Augstburger, 1983). Los miembros del proyecto Agrobiología de Cochabamba, ahora llamado AGRUCO, intentan revertir esta tendencia ayudando a los campesinos a recuperar su autonomía productiva. En experimentos conducidos en suelos neutros, se obtuvieron rendimientos más altos con estiércol que con fertilizantes químicos. En Bolivia, los estiércoles orgánicos son deficientes en fósforo. Por lo tanto, AGRUCO recomienda mezclas de harina de hueso y roca de fosfato, que pueden obtenerse localmente y a precios bajos, para aumentar el contenido de fósforo de los estiércoles orgánicos. Para reemplazar el uso de fertilizantes y satisfacer los requerimientos de nitrógeno de papas y cereales se han diseñado sistemas de intercultivo y rotativos a base de la especie nativa *Lupinus mutabilis*. Los experimentos han demostrado que *L. mutabilis* puede fijar 200 kg de nitrógeno por hectárea al año, el cual queda parcialmente disponible para la papa asociada o subsiguiente, minimizando así significativamente la necesidad de fertilizantes (Augstburger, 1983). El policultivo papa/lupino produce más que los monocultivos de papa y también reduce considerablemente la incidencia de enfermedades virosas. Otros estudios en Bolivia, donde el *Lupinus* ha sido usado como un cultivo en rotación, muestran que, aunque los rendimientos sean mayores en campos de papa fertilizados químicamente y preparados mecánicamente, los costos energéticos son más altos y los beneficios económicos netos más bajos que en el sistema agroecológico (**Tabla 7**). Las encuestas indican que los agricultores prefieren este sistema alternativo porque optimiza el uso de recursos escasos, mano de obra y capital disponible, y se encuentra disponible para productores pobres.

En los valles interandinos de Cajamarca, cerca de San Marcos (Perú), los sistemas tradicionales de cultivo se han modificado drásticamente con la agricultura convencional y las influencias urbanas que han creado un mercado orientado a la agricultura del monocultivo, favoreciendo a los cultivos rentables más que a los cultivos andinos. Centro IDEAS, una ONG agrícola, ha implementado una propuesta de agricultura orgánica a fin de revertir el proceso arriba mencionado, fomentando una estrategia más apropiada de desarrollo rural que rescata elementos de la agricultura tradicional local y que asegura la autosuficiencia alimentaria y la conservación de los recursos naturales (Chávez, 1989).

Los aspectos básicos de la propuesta son:

1. El uso racional de recursos locales, conservación de recursos naturales y uso intenso de labor animal y humana.
2. Una alta diversidad de cultivos nativos y exóticos, yerbas, arbustos, árboles y animales criados en modelos policulturales y rotativos.
3. La creación de microclimas favorables mediante el uso de cortinas rompevientos, cercas vivas y reforestación con frutales y árboles nativos y exóticos.
4. El reciclaje de residuos orgánicos y el manejo óptimo de animales pequeños.

**Tabla 7. El desempeño de sistemas de papa tradicional, moderno y agroecológico en Bolivia**

	<b>Tradicional (bajo en insumos)</b>	<b>Moderno (alto en insumos)</b>	<b>Sistema agroecológico</b>
Rendimiento de papa (toneladas métricas/ hectárea)	9.2	17.6	11.4
Fertilizantes químicos (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha)	0.0	80+120	0.0
Biomasa del lupino (toneladas métricas/ hectárea)	0.0	0.0	1.5
Eficiencia energética (output/input)	15.7	4.8	30.5
Ingreso neto (bolivianos)	6.2	9.4	9.9

Fuente: Rist, 1992

Esta propuesta se implementó en una finca modelo de 1.9 ha, inserta en un área con condiciones similares a las que enfrenta el campesino promedio de la región. La finca se dividió en 9 lotes, cada uno siguiendo un diseño rotativo particular (**Tabla 8**). Después de 3 años de operación, los resultados de campo mostraron las siguientes tendencias:

1. El contenido de materia orgánica aumentó de niveles bajos a mediano y altos, y los niveles de nitrógeno aumentaron ligeramente. La adición de

**Tabla 8. Diseño de rotación de una finca modelo**

<b>Lote</b>	<b>Primer año</b>	<b>Segundo año</b>	<b>Tercer año</b>
1	Maíz, frijol, quinua, kiwicha, calabaza y chiclayo	Trigo	Cebada
2	Cebada	Lupino y lenteja	Linaza
3	Trigo	Habas y avena	Maíz, frijol, quinua y kiwicha
4	Centeno	Trigo	Lentejas
5		Maíz, frijol, quinua, kiwicha, calabaza y chiclayo	Trigo
6	Barbecho	Linaza	Cebada y lentejas

Fuente: Chávez, 1999

fertilizantes naturales fue necesaria para mantener niveles óptimos de nitrógeno y materia orgánica.

2. Aumento de fósforo y potasio en todos los lotes.
3. Los rendimientos de cultivos variaron entre los lotes, sin embargo en lotes con buenos suelos (lote 1) se obtuvieron rendimientos altos de maíz y trigo.
4. Los policultivos produjeron más que los monocultivos en todos los casos.
5. Para cultivar 1 ha de la finca modelo fue necesario utilizar 100 horas/hombre, 15 horas/buey, y aproximadamente 100 kg de semillas.

Estos resultados preliminares indican que el diseño propuesto de finca mejora la diversidad de cultivos alimenticios disponibles para la familia, el ingreso aumenta dada la mayor productividad y mantiene la integridad ecológica del recurso natural.

Desde entonces, esta experiencia modelo se extendió a 12 agricultores de la costa y sierra peruanas, quienes han experimentado una conversión al manejo agroecológico. Una evaluación reciente de estas experiencias mostró que después de un proceso de conversión de 2 a 5 años, el ingreso aumentó progresivamente debido a un aumento del 20 por ciento en la productividad (Alvarado la Fuente y Wiener Fresco, 1998). De las 33 tecnologías orgánicas diferentes ofre-



cidas por IDEAS, los 12 agricultores prefirieron las siguientes: fertilización orgánica (11 casos), intercultivo (10 casos), integración animal (10 casos) y sistemas agroforestales (8 casos).

#### *Iniciativas agroecológicas en el Brasil*

El servicio estatal de extensión e investigación, Empresa de Pesquisa Agropecuaria y Difusao de Tecnologia de Santa Catarina (EPAGRI), trabaja con agricultores en el estado sureño de Santa Catarina. El enfoque tecnológico se centra en la conservación de agua y suelo a nivel de micro-cuencas usando barreras de pasto en contorno y abonos verdes. Más de 60 especies de cultivos de cobertura han sido probadas por agricultores, incluyendo plantas leguminosas tal como frijol terciopelo, *jackbean*, lablab, caupí, haba y crotalarias, además de avena y nabos. Para los agricultores esto no involucra costos mayores, a excepción de la compra de semilla. Éstas se intercalan o se siembran durante los períodos de barbecho y se usan en sistemas con maíz, cebollas, yuca, trigo, uvas, tomates, soya, tabaco y en huertos frutales (Pretty, 1995).

Los mayores impactos del proyecto se han manifestado en los rendimientos de cultivo, calidad del suelo y retención de humedad, y demanda de labor. Los rendimientos de maíz han subido desde 1987 de 3 a 5 t/ha y de soya de 2.8 a 4.7 t/ha. Los suelos han adquirido un color más oscuro, son más húmedos y son biológicamente más activos. La reducida necesidad de desyerbe y arado han significado importantes ahorros de labor para los pequeños agricultores. Este trabajo ha puesto en evidencia la importancia de mantener la cubierta del suelo para prevenir la erosión en forma barata. EPAGRI ha alcanzado a más de 38,000 agricultores en 60 micro-cuencas desde 1991 (Guijt, 1998). EPAGRI ha ayudado a más de 11,000 agricultores ha desarrollar planes de diseño de fincas y abasteciéndolos con 4,300 toneladas de abono verde.

En las sabanas del Cerrado donde la soya es el monocultivo dominante, los problemas asociados con el manejo erróneo del suelo se hacen cada vez más evidentes. El incremento de la materia orgánica a través de la conservación del suelo y la restauración de su fertilidad es de importancia clave para la estabilidad productiva del Cerrado. Por esta razón, varias ONG e investigadores del estado han concentrado esfuerzos en el diseño de rotaciones y técnicas de labranza cero. La adopción de la rotación maíz-soya ha incrementado los rendimientos, disminuido la erosión del suelo y los problemas típicos de plagas que afectan al monocultivo de la soya (Spehar y Souza, 1996).

Otra alternativa que se ha promovido es el uso de abonos verdes como la *Crotalaria juncea* y *Stizolobium atterrimum*. Algunas investigaciones revelan que los rendimientos de cultivos de granos que utilizan abonos verdes aumentan en un 45% más que los monocultivos durante estaciones lluviosas normales. A pesar de que la manera normal de sembrar los abonos verdes es después de la cosecha del cultivo principal, los abonos verdes se pueden intercalar con cultivos de ciclo largo. En el caso del intercultivo maíz-abono verde, los mejores resultados se obtienen cuando *S. atterrimum* se siembra 30 días después del maíz. El maíz también se puede intercalar con leguminosas perennes como *Zornia* sp. y *Stylosanthes* sp., creando así un sistema de doble propósito que produce pasto forrajero y alimento (Spehar y Souza, 1996).

En el clima caliente y seco de Ceara, los agricultores combinan la producción de ovejas, cabras, maíz y frijol, pero la productividad es baja y la degradación ambiental va en aumento. En el período entre 1986 y 1991, ESPLAR, una ONG local se comprometió en un amplio programa de desarrollo, involucrando el estado entero de Ceara, mediante un programa de adiestramiento masivo en agroecología para los líderes de las comunidades, alcanzando aproximadamente a 600 agricultores, lo cual tuvo los siguientes resultados (VonderWeid, 1994):

1. El regreso del cultivo arbóreo de algodón en cultivo mixto con *Leucaena*, algarrobo (*Prosopis juliflora*) y sabia (*Mimosa caesalpiniaedfdia*). Una variedad de ciclo más corto se introdujo, junto con el control integrado del gorgojo de la cápsula del algodón, haciendo posible restaurar la siembra de algodón.
2. El uso de pequeños diques para la producción de hortalizas bajo riego.
3. Enriquecimiento de las *capoeiras* (áreas con crecimiento de vegetación secundaria) con especies de plantas seleccionadas, lo que hizo posible sustentar 50 por ciento más cabras por unidad de tierra.
4. La introducción de leguminosas herbáceas como forraje (especialmente *Bradyrhizobium* sp.), en praderas mixtas o en rotación con maíz y frijol.
5. Siembra en contorno para reducir el escurrimiento.

En un ambiente semiárido similar, el Centro de Tecnologías Alternativas de Ouricouri desarrolló un experimento durante tres años para demostrar la viabilidad de un sistema alternativo a la tala y quema. La estrategia consistió en cuatro componentes: el uso racional de la mano de obra; el uso de cultivos que compiten con el recrecimiento de vegetación natural; la protección eficiente de suelo; y la cosecha y retención de agua de lluvia. El trabajo alcanza a por lo menos 500 agricultores en 30 comunidades (Guijt, 1998). La alternativa de no

quemar involucra cortar y aclarar la vegetación de árboles y arbustos, sembrar cultivos más densamente y usar estiércol de caballo y ganado. Los resultados del primer año indicaron que fue posible tener producción razonable y que puede controlarse el recrecimiento de árboles y arbustos. Un aspecto negativo, sin embargo fue la necesidad de usar más de un sexto del área disponible para el almacenaje de troncos y ramas. En el segundo año el rendimiento de frijol aumentó por encima del 100 por ciento en relación con el promedio histórico, aunque la baja productividad de maíz levantó dudas con respecto a la conveniencia de este cultivo bajo condiciones agroecológicas semiáridas. El sorgo mostró un desempeño mejor.

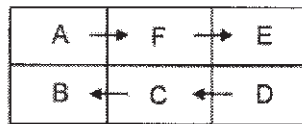
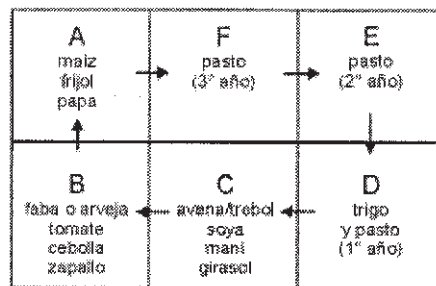
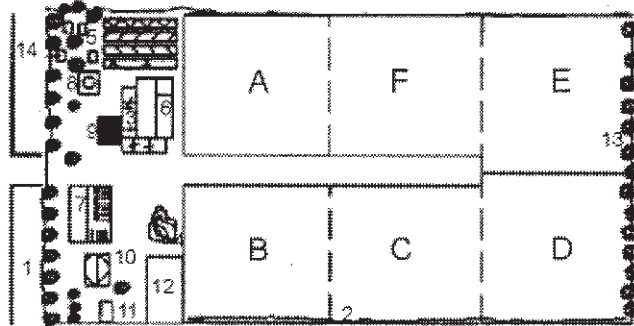
La acumulación de material vegetal en el tercer año fue suficiente para usarse como *mulch*. Desafortunadamente, las lluvias iniciales fueron seguidas por sequías prolongadas y el rendimiento de frijol cayó severamente a causa de enfermedades fungosas. No obstante, el rendimiento de maíz (552 kg/ha) estuvo por encima del promedio regional de 500 kg/ha (VonderWeid, 1994).

#### *Sistemas integrados de producción*

En América Latina varias ONG promueven el uso integrado de una variedad de prácticas y tecnologías de manejo agrícola. El énfasis está en fincas diversificadas, en las cuales cada componente del sistema del cultivo refuerza biológicamente a los otros componentes; de manera que los desperdicios de un componente llegan a ser aporte para otro. Desde 1980, la CET, una ONG chilena se ha comprometido en un programa rural de desarrollo destinado a ayudar a los campesinos a alcanzar autosuficiencia alimentaria durante todo el año y a la vez reconstruir la capacidad productiva de sus pequeñas haciendas (Altieri, 1995). El enfoque ha consistido en establecer varias fincas modelo de 0.5 ha, las que incluyen una secuencia rotativa espacial y temporal de cultivos, forraje, hortalizas, árboles frutales y forestales, y animales. Los componentes se eligen según las contribuciones nutritivas de los cultivos o animales a las etapas rotativas subsiguientes, su adaptación a las condiciones agroclimáticas locales, hábitos locales de consumo y finalmente, oportunidades de mercado. La mayoría de las hortalizas crecen en camas elevadas sembradas densamente ubicadas en la sección del jardín. Cada una puede rendir hasta 83 kg de verduras frescas por mes, un mejoramiento considerable comparado con los 20 o 30 kg producidos en los jardines espontáneos que comúnmente existen alrededor de hogares. El resto del área de 200 metros cuadrados que circunda la casa se usa para huerto y para animales (una vaca, gallinas, conejos y abejas).

*Agricultura ecológica en América Latina*

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



**Figura 7.** Diseño modelo de un sistema agrícola basado en un esquema de rotación de siete años, adaptable a ambientes mediterráneos (modificado de CET, 1983).

Las hortalizas, cereales, leguminosas y las plantas forrajeras se producen en un sistema rotativo de seis años dentro de un área de media hectárea adyacente al jardín. La producción relativamente constante se logra (son aproximadamente seis toneladas al año de biomasa útil de 13 especies diferentes de cultivos) dividiendo la tierra en 6 pequeñas parcelas de capacidad productiva casi igual (**Figura 7**). La rotación se diseña para producir en seis lotes la máxima variedad de cultivos básicos, aprovechando las propiedades de restauración del suelo y

aspectos de control biológico de la rotación. A través de los años, la fertilidad del suelo en la finca original de demostración ha mejorado y ningún problema serio de enfermedad o plaga ha aparecido. Los árboles frutales en el huerto y los cercos vivos, así como también los cultivos forrajeros son altamente productivos. La producción de huevos y leche excede ampliamente a aquellas de fincas convencionales. Un análisis nutritivo del sistema, basado en sus componentes claves, demuestra que para una familia típica se produce un superávit de 250% de proteína, de 80 y 550% de vitamina A y C, respectivamente, y 330% de calcio. Un análisis económico familiar indica que el balance entre vender el superávit y comprar artículos preferidos provee un ingreso neto de aproximadamente \$790 dólares. Si todo el rendimiento de la finca se vendiese a precio de mayorista, la familia podría generar un ingreso neto mensual 1.5 veces mayor que el jornal mínimo legal mensual en Chile, dedicando relativamente sólo unas pocas horas por semana a la granja. El tiempo sobrante es usado por la familia para otras actividades que generan ingreso dentro o fuera de la granja.

En Cuba, la Asociación Cubana de Agricultura Orgánica (ACAO), una organización no gubernamental formada por científicos, agricultores y extensionistas, ha jugado un papel pionero en promover módulos de producción alternativa (Rosset, 1997). En 1995, ACAO ayudó a establecer tres sistemas integrados de producción llamados «faros agroecológicos» en cooperativas (CPA) en la provincia de La Habana. Después de los primeros seis meses, las tres CPA habían incorporado innovaciones agroecológicas (ej. integración de árboles, rotación planificada de cultivos, policultivos, abonos verdes, etc.) las que con el tiempo, han conducido al aumento de producción y biodiversidad, y al mejoramiento de la calidad del suelo, especialmente el contenido de materia orgánica. Varios policultivos tales como yuca-frijol-maíz, maíz, yuca-tomate y camote-maíz se probaron en las CPA. La evaluación de productividad de estos policultivos indican una productividad de 2.82, 2.17 y 1.45 veces mayor que monocultivos correspondientes, respectivamente (**Tabla 9**).

El uso de *Crotalaria juncea* y *Vigna unguiculata* como abono verde ha asegurado una producción de calabaza equivalente a aquella obtenible aplicando 175 kg/ha de urea. Además, tales legumbres mejoran las características químicas y físicas del suelo y efectivamente rompen los ciclos de vida de insectos plaga tales como el gorgojo del camote (SANE, 1998). En el Instituto Cubano de Investigación de Pastos, fueron establecidos varios módulos agroecológicos con porciones diversas de la finca dedicadas a la agricultura y a la producción animal. La verificación de la producción y la eficiencia de un módulo de 75% pastura/25% cultivo, revela que la producción total aumenta con el tiempo y

que los aportes de labor y energía disminuyen cuando la estructura biológica del sistema comienza a patrocinar la productividad del agroecosistema. La producción total de biomasa aumentó de 4.4 a 5.1 t/ha después de 3 años de manejo integrado. Los aportes de energía disminuyeron, resultando en la mejora de la eficiencia energética de (4.4 a 9.5) (**Tabla 10**). La demanda de mano de obra para el manejo también disminuyó con el tiempo de 13 horas de labor humana/día a 4 a 5 horas. Estos modelos se han promocionado extensivamente en otras áreas mediante días de campo y visitas de agricultores (SANE, 1998).

**Tabla 9. El desempeño de policultivos en dos cooperativas cubanas**

Rendimiento (ton/ha)	1	2	3	LER	CPA
<b>Policultivos</b>					
Yuca-frijol-maíz	15.6	1.34	2.5	2.82	«28 de Septiembre»
Yuca-tomate-maíz	11.9	21.2	3.7	2.17	«Gilberto León»
Yuca-maíz	13.3	3.39	----	1.79	«Gilberto León»
Frijol-maíz-col	0.77	3.6	2.0	1.77	«28 de Septiembre»
Camote-maíz	12.6	2.0	----	1.45	«Gilberto León»
Sorgo-calabaza	0.7	5.3	----	1.01	«28 de Septiembre»

Fuente: SANE, 1998

**Tabla 10. Desempeño productivo y eficiencia de un módulo con 75% animal / 25% cultivos en Cuba**

Parámetros productivos	Primer año	Tercer año
Area (ha)	1	1
Producción total	4.4	5.1
Energía producida (t/ha)	3797	4885
Proteína producida (kg/ha)	168	171
Número de personas alimentadas por hectárea	4	4.8
Aportes (gastos de energía, Mcal)		
-Labor humana	569	359
-Trabajo animal	16.8	18.8
-Energía de tracción	277.3	138.6

Fuente: SANE, 1998

## CONCLUSIONES

La mayoría de las investigaciones sobre agricultura tradicional y campesina en América Latina sugieren que los sistemas de pequeña escala son sustentablemente productivos, biológicamente regenerativos y eficientes energéticamente, y también tienden al mejoramiento de la equidad, participación y a ser socialmente justos. Además de la diversidad de cultivos, los campesinos usan un conjunto de prácticas que ocasionan una mínima degradación de suelos. Estas incluyen el uso de terrazas y callejones de arbustos en contorno, labranza mínima, y ciclos largos de barbecho. Concentrándose en rotaciones cortas y pocas variedades, la modernización agrícola en las mismas áreas ha ocasionado perturbación ambiental y erosión de la diversidad genética.

Al adoptar una estrategia de uso múltiple, los agricultores nativos manejan un continuo de sistemas naturales y agrícolas obteniendo una variedad de productos así como también servicios ecológicos creando una verdadera agricultura multifuncional. Los sistemas de cultivos diversificados, como aquellos usados por los campesinos, basados en policultivos y agroforestería, han sido recientemente el objetivo de muchas investigaciones. Este interés se basa en la nueva evidencia que demuestra que estos sistemas; son más sustentables y más conservadores de recursos (Vandermeer, 1995). Estos atributos están conectados a los niveles más altos de diversidad biológica funcional asociados con los sistemas de cultivos complejos. De hecho, una cantidad creciente de información en la literatura, documenta los efectos que tiene la diversidad de las plantas sobre la estabilización de procesos del agroecosistema.

En un experimento recientemente conducido, y bien replicado, donde la diversidad de especies fue controlada directamente en sistemas de campos de pastoreo, se encontró que la productividad de los ecosistemas aumentó y que los nutrientes de suelo se utilizaron más completamente cuando había una mayor diversidad de especies, conduciendo a menores pérdidas por lixiviación en el ecosistema (Tilman *et al.*, 1996). En los agroecosistemas este mismo efecto se observa con insectos; la regulación de poblaciones de herbívoros se incrementa con el enriquecimiento de especies de plantas. La evidencia sugiere que cuando se aumenta la diversidad de plantas, el daño de plagas alcanza niveles aceptables, resultando así en rendimientos más estables de cultivos. Aparentemente, mientras más diverso el agroecosistema y mientras más tiempo esta diversidad permanece inalterada, más nexos internos se desarrollan para promover mayor estabilidad en las comunidades de insectos. Un aspecto que está claro es que la composición de especies es más importante que el número de especies *per se*. El desafío es identificar los ensamblajes de especies adecuados que proveerán



mediante sus sinergias biológicas, servicios ecológicos claves tales como el reciclado de nutrientes, control biológico de plagas y conservación de suelo y agua.

Mientras que se podría argumentar que la agricultura campesina generalmente carece de la potencialidad de producir un superávit comercial significativo, ésta «asegura la seguridad» alimentaria. Muchos científicos creen erróneamente que los sistemas tradicionales no producen más porque la mano de obra y la tracción animal ponen un techo a la productividad. La productividad puede ser baja pero las causas parecen ser más sociales que técnicas. Cuando el agricultor de subsistencia logra proveer el alimento, no hay presión para innovar o para mejorar rendimientos. No obstante, las ONG que conducen proyectos agroecológicos muestran que la producción tradicional puede adaptarse frecuentemente para aumentar la productividad, cuando la estructura biológica de la finca se mejora y la labor y los recursos locales se usan eficientemente (**Tabla 11**; Altieri, 1995). De hecho, muchas tecnologías agroecológicas promovidas por las ONGs pueden mejorar los rendimientos agrícolas tradicionales aumentando la productividad por área de tierra marginal, mejorando también la agrobiodiversidad en general y sus efectos positivos asociados con la seguridad alimentaria y la integridad ambiental.

No se trata aquí de una cuestión de romanticismo con respecto a la agricultura de subsistencia o de considerar el desarrollo *per se* como perjudicial. La idea es destacar el valor de la agricultura tradicional en la conservación de la agrobiodiversidad, ya que este modo de apropiación de la naturaleza mejora la multifuncionalidad de la agricultura (Toledo, 1995). Basar una estrategia de desarrollo rural en la agricultura tradicional y el conocimiento etnobotánico, combinado con elementos de la agroecología moderna, no sólo asegura el mantenimiento y uso continuo de la agrobiodiversidad valiosa, sino que también permite la diversificación de áreas agrícolas que aseguran una variedad de servicios ecológicos vitales para la seguridad alimentaria, la conservación del recurso natural, una mejor viabilidad económica, mejoramiento del microclima, conservación cultural y realce de la comunidad. El desafío es promover políticas correctas y asociaciones institucionales que puedan difundir la agricultura, basada ecológicamente para que sus impactos multifuncionales sean rápidamente diseminados a través de los paisajes rurales de América Latina.



**Tabla 11. El alcance e impactos de tecnologías agroecológicas implementadas por ONG en sistemas de campesinos a lo largo de América Latina**

<b>País</b>	<b>Organización involucrada</b>	<b>Intervención agroecológica</b>	<b>No. de agricultores o unidades de afectadas</b>	<b>no. de hectáreas afectadas</b>	<b>Cultivos dominantes</b>
Brasil	EPAGRI AS-PTA	Abono verde Cultivos de cobertura	38,000 familias	1'330,000	Maíz, trigo
Guatemala	ALTERTEC y otros	Conservación de suelo abono verde, cultivo orgánico	17,000 unidades	17,000	Maíz
Honduras	CIDDICO COSECHA	Conservación de suelo, abonos verdes	27,000 unidades	42,000	Maíz
El Salvador	COAGRES	Rotaciones, abonos verdes, compost, insecticidas botánicos	> 200	Nd	Cereales
México	Cooperativas oaxaqueñas	Compost, terrazas, siembra en contorno	3,000 familias	23,500	Café
Perú	CIED/IDEAS	Rehabilitación de terraplenes antiguos	> 1,250 familias	> 1,000	Cultivos andinos
		Campos elevados	Nd	250	Cultivos andinos
		Rehabilitación agrícola de cuencas	> 100 familias	N/A	Cultivos
		Policultivos sistemas agro-compostaje	12 familias	25	Cultivos
República Dominicana	Plan Sierra Swed Forest-FUDECO	Conservación de suelo, manejo de bosques secos, sistemas silvopastoriles	> 2,500 familias		Muchos cultivos
Chile	CET	Granjas integradas, cultivos orgánicos	> 1,000 familias	> 2,250	Varios cultivos
Cuba	ACAO	Granjas integradas	4 cooperativas	250	Varios cultivos

Nd: no hay datos; Fuente: Bowder, 1989; Altieri, 1995; Pretty, 1997

## BIBLIOGRAFÍA

- Ables, J. R. y R. L. Ridgeway. 1981. Augmentation of entomophagous arthropods to control insect pests and mites. En: *Biological control in crop production*. pp: 273-305. G. Papavizas (ed.) Allandheld, Osmun Pub. London.
- Alcorn, J. B. 1984. *Huastec Mayan Ethnobotany*. University of Texas Press, Austin.
- Alstad, D.N. y D.A. Andow 1995. Managing the Evolution of Insect Resistance to Transgenic Plants. *Science* 268: 1894-1896.
- Altieri, M. A. 1984. Patterns of insect diversity in monocultures and polycultures of brussel sprouts. *Protection Ecology* 6: 227-232.
- Altieri, M. A. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri, M. A. 1995. *Agroecology: the Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press, Boulder.
- Altieri, M. A. y D. K. Letourneau. 1984. Vegetation diversity and insect pest outbreaks. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences* 2: 131-169.
- Altieri, M. A. y D. L. Letourneau. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.
- Altieri, M. A. y L. L. Schmidt. 1986. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16: 29-43.
- Altieri, M. A. y W. H. Whitcomb. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *HortScience* 14: 12-18.
- Altieri, M. A., J. A. Cure y M. A. Garcia. 1993. The role and enhancement of parasitic hymenoptera biodiversity in agroecosystems. En: *Hymenoptera and biodiversity*. pp: 257-275. J. La Salle y I. D. Gauld (eds.) CAB International, Wallingford, UK.
- Altieri, M. A., M.K. Anderson, y L.C. Merrick. 1987. Peasant agriculture and the conservation of crop y wild plant resources. *J. Soc. Conservation Biology*. 1:49-58.

- Altieri, M.A. (1987), *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture*, Westview Press, Boulder, CO.
- Altieri, M.A. (1991), How best can we use biodiversity in agroecosystems, *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri, M.A. (1991), Traditional farming in Latin America, *The Ecologist*, 21: 93-96.
- Altieri, M.A. (1992), *Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas*, CETAL, Ediciones, Valparaíso, Chile.
- Altieri, M.A. (1995), *Agroecology: The science of sustainable agriculture*, Westview, Press, Boulder.
- Altieri, M.A. 1992. Agroecological foundations of alternative agriculture in California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 39: 23-53.
- Altieri, M.A. 1998. Ecological impacts of industrial agriculture and the possibilities for truly sustainable farming. *Monthly Review* 50: 60-71
- Altieri, M.A. 1999. The environmental risks of transgenic crops: an agro-ecological assessment. En: I. Serageldin y W. Collins (eds.) *Biotechnology and biosafety* pp: 31-38. World bank, Washington D.C.
- Altieri, M.A. y L. C. Merrick. 1987. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 4:86-96.
- Altieri, M.A. y A. Yurjevic (1989), The Latin American Consortium on Agroecology and Development: A new institutional arrangement to foster sustainable agriculture among resource-poor farmers”, *Bulletin Inst. of Development Anthropology* 7: 17-19.
- Altieri, M.A. y A. Yurjevic (1991), La agroecología y el desarrollo rural sostenible en América Latina, *Agroecología y Desarrollo* 1: 25-36.
- Altieri, M.A. y M.K. Anderson (1986), An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World, *J. Alternative Agriculture* 1: 30-38.
- Altieri, M.A. y P.M. Rosset 1995. Agroecology y the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies* 50: 165-185.
- Altieri, M.A. y S.B. Hecht (1991), *Agroecology and Small Farm Development*. CRC Press. Boca Raton, Florida.

- Altman, A. 1998. *Agricultural Biotechnology*. Marcel Dekker, Inc. New York. 770p.
- Andow, D. A. 1983. The extent of monoculture and its effects on insect pest populations with particular reference to wheat and cotton. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 9: 25-35.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- Araujo, H., A.Brack-Egg y E. Grillo (1989), *Ecología, agricultura y autonomía campesina en los Andes*, Fundación Alemana para el Desarrollo Internacional. Feldafing-Lima-Hohenheim.
- Audirac, Y. 1997. *Rural sustainable development in America*. John Wiley and Sons, N.Y.
- Augstburger, F. 1983. Agroeconomic and economic potential of manure in Bolivian valleys and highlands, *Agriculture Ecosystem and Environment* 10: 335-346.
- Batra, S. W. T. 1982. Biological control in agroecosystems. *Science* 215: 134-139.
- Beets, W.C. 1982. *Multiple Cropping and Tropical Farming Systems*. Westview Press, Boulder.
- Berlin, B, D.E. Breedlove y P.H. Raven. 1973. General principles of classification and nomenclature in folk biology. *American Anthropologist* 75:214-242.
- Biotech Reporter 1996. (Financial Section, p.14, Marzo1996).
- Birch, A.N.E. et al. 1997. Interaction Between Plant Resistance Genes, Pest Aphid Populationsand Beneficial Aphid Predators. Scottish Crops Research Institute (SCRI) Annual Report 1996-1997, pp. 70-72.
- Bourliaud, J. y otros. (1988), *Chakitaklla: estrategia de barbecho e intensificación de la agricultura Andina*, ORSTROM-PISA, Lima.
- Brandbyge, J y L.B. Hoklm Nielsen (1987), *Reforestación de los Andes ecuatorianos con especies nativas*, Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA), Quito
- Brokenshaw, D.W., D.M. Warren y O. Werner. 1980. *Indigenous Knowledge Systems and Development*. University Press of America, Lanham.
- Brush, S.B. Diversity and change in Andean Agriculture. En Little y otros (eds.), *Lands at risk in the Third World*. pp: 271-289. P.D., Westview Press, Boulder.
- Brush, S.B. (1982), *The natural and human environment of the Central Andes*,

- Mountain Research and Development* 2: 14-38.
- Brush, S.B. 1986. Genetic diversity and conservation in traditional farming systems. *J. Ethnobiol.* 6:151-167.
- Brush, S.B. y otros 1981, Dynamics of Andean potato agriculture, *Economic Botany* 35: 70-88
- Bunch, R. 1988. *Case study: Guinope, an integrated development program in Honduras*, World Neighbors, Oklahoma.
- Busch, L., W.B. Lacy, J. Burkhardt y L. Lacy 1990. *Plants, Power and Profit*. Basil, Blackwell, Oxford.
- Buttel, F.H. y M.E. Gertler 1982. Agricultural structure, agricultural policy and environmental quality. *Agriculture and Environment* 7: 101-119.
- Bye, R.A. 1981. Quelites —ethnoecology of edible greens— past, present and future. *J. Ethnobiol.* 1:109-123.
- Byerlee, D., M. y otros 1980. *Planning Technologies Appropriate to Farmers: Concepts and Procedures*. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), D.F., México.
- Caltagirone, C. E. 1981. Landmark examples in classical biological control. *Ann. Rev. Entomology* 26: 213-32
- Campbell, B.C. y S.C. Duffy 1979. Tomatine and Parasitic Wasps: potential incompatibility of plant antibiosis with biological control. *Science* 205: 700-702.
- Canales, C.R y M.E. Tapia (1987), *Producción y manejo de forrajes en los Andes del Perú*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Humanga-PISA, Ayacucho.
- Casper, R. y J Landsmann. 1992. The biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms. Proceedings of the Second International Symposium. Goslar, Germany. 296 p.
- CEPAL (1986), *Estrategia para el desarrollo y manejo de la región Andina: una propuesta de acción a nivel de cuenca hidrográfica*. CEPAL, Santiago, Chile.
- Clawson, D.L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Econ. Bot.* 39:56-67.
- Conway, G.R. (1985), Agroecosystems analysis, *Agricultural Administration* 20: 31-55.

- Conway, G.R. y Pretty, J.N. 1991. *Unwelcome harvest: agriculture and pollution*. Earthscan Publisher, London.
- Conway, G.R. y E.B. Barbier (1990), *After the Green Revolution: Sustainable Agriculture for development*. Earthscan Pub., London.
- CORDEPUNO-INIPA 1987. Anales: V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno, Perú.
- Critchley .W y otros (1992.), Water harvesting for plant production. En World Bank Technical Paper 157. Washington DC. 134p.
- Croft, B. A. 1990. *Arthropod biological control agents and pesticides*. J. Wiley and Sons, New York. 235 p.
- Cromartie, W. J. 1981. The environmental control of insects using crop diversity. En: Pimentel, D. (ed.). *CRC Handbook of Pest Management*. CRC Press, Boca Raton, pp. 223-251.
- Crucible Group 1994. *People, Plants and Patents*. IDRC, Ottawa.
- Chacon, J.C. y S.R. Gliessman. 1982. Use of the «non-weed» concept in traditional agroecosystems of south-eastern Mexico. *Agro-Ecosystem* 8:1-11.
- Chambers, R. 1983. *Rural Development: putting the last first*. Longman Group Limited, Essex.
- Chang, J.H. 1977. Tropical agriculture: crop diversity and crop yields. *Econ. Geogr.* 53:241-254.
- Chávez, J y otros 1989. *Propuesta de agricultura orgánica para la Sierra*, IDEAS-CONYTEC, Lima.
- Dalsgaard, J.P.T y otros (1995), Towards quantification of ecological sustainability in faming systems analysis, *Ecol. Eng.* 4: 181-189
- Darmency, H. 1994. The Impact of Hybrids Between Genetically Modified Crop Plants and their Related Species: introgression and weediness. *Molecular Ecology* 3: 37-40.
- de Janvry, A., D. Runstem, y E. Sadoulet. 1987. *Technological Innovations in Latin American Agriculture*, IICA Program Paper Series. San José, Costa Rica.
- DeBach, P. 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Reinhold, N.Y. 844 p.
- DeBach, P. y D. Rosen. 1991. *Biological control by natural enemies*. Cambridge University Press, Cambridge. 440 p.

- Dempster, J. P. y Coaker, T. H. 1974. Diversification of crop ecosystems as a means of controlling pests. En: Jones, D. P. y Solomon, M. E. (eds.). *Biology in Pest and Disease Control*. John Wiley, New York, pp. 106-114.
- Denevan, D.W. 1995. Prehistoric agricultural methods as models for sustainability, *Adv. Plant Pathol.* 11: 21-43.
- Denevan, W.M. y otros 1984. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora indian management of swidden fallows, *Interciencia* 9: 346-357.
- Denevan, W.M., J.M. Treace, J.B. Alcorn, C. Padoch, J. Denslow y S.T. Paitan. 1984. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora Indian management of swidden fallows. *Interciencia* 9:346-357.
- Donnegan, K.K., C.J. Palm, V.J. Fieland, L.A. Porteous, L.M. Ganis, D.L. Scheller y R.J. Seidler, 1995. Changes in levels, species, and DNA fingerprints of soil micro organisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* endotoxin. *Applied Soil Ecology* 2: 111-124
- Doutt, R. L. y Nakata, J. 1973. The *Rubus* leafhopper and its egg parasitoid: an endemic biotic system useful in grape pest management. *Environmental Entomology* 2: 381-386.
- Duke, S.O. 1996. *Herbicide resistant crops: agricultural, environmental, economic, regulatory, and technical aspects*. Lewis Publishers, Boca Raton 420 p.
- Earls, J. 1989. *Planificación agrícola Andina*. COFIDE, Lima.
- Edland, T. 1995. Integrated pest management in fruit orchards. En: *Biological control: benefits and risks*. pp: 97-105. H.M.T. Hokkanen y J. M. Lynch (eds.) Cambridge University Press, Cambridge.
- Edwards, C.A. y otros 1993. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability, *Agric. Ecosyst. Environ.* 46: 99-121
- Ehler, L. E. y J. C. Miller. 1978. Biological control in temporary agroecosystems. *Entomophaga* 23: 213-32.
- Erickson, C.L. y K.L. Chandler 1989. Raised fields and sustainable agriculture in the Lake Titicaca basin of Perú. En: J.O. Browder (ed.), *Fragile Lands of Latin América*, Westview Press. Boulder, CO.
- Ewell, P.T. , K.O. Fuglie y K.V. Raman 1994. Farmers perspectives on potato pest management in developing countries: interdisciplinary research at the International Potato Center (CIP). En: G. W.Zehnder (ed.), *Advances in potato pest and biology and management*. pp: 597-615.

- Faeth, P. y otros 1991. *Paying the Farm Bill: U.S. Agricultural Policy and the Transition to Sustainable Agriculture*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Flint, M. L. y Roberts, P. A. 1988. Using crop diversity to manage pest problems: some California examples. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 164-167.
- Fonseca, C y E. Mayer. 1988. *Comunidad y producción en la agricultura andina*. FOMCIENCIAS, Lima.
- Fowler, C. y P. Mooney 1990. *Shattering: food, politics and the loss of genetic diversity*. University of Arizona Press, Tucson.
- Francis, C. A. 1986. *Multiple cropping systems*. MacMillan, N.Y.
- Francis, C.A. 1985. *Variety development for multiple cropping systems*. CRC Cit. Rev. Pl. Sci. 3:133-168.
- Frankel, O.H. y M.E. Soul,. 1981. *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fry, G. 1995. Landscape ecology of insect movement in arable ecosystems. En: *Ecology and integrated farming systems*. D. M. Glen et al. (eds.). John Wiley and Sons, Bristol, UK.
- Gill, D.S. 1995. Development of Herbicide Resistance in Annual Ryegrass Populations in the Cropping Belt of Western Australia. *Australian Journal of Exp. Agriculture* 3: 67-72.
- Gliessman, S.A., E. Garcia y A. Amador. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems* 7:173-185.
- Gliessman, S.R. 1997. *Agroecology: ecological processes in agriculture*. Ann Arbor Press, Michigan.
- Gliessman, S.R., E.R. Garcia y 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.
- Goldburg, R.J. 1992. Environmental Concerns with the Development of Herbicide-Tolerant Plants. *Weed Technology* 6: 647-652.
- Gould, F. 1994. Potential and Problems with High-Dose Strategies for Pesticidal Engineered Crops. *Biocontrol Science and Technology* 4: 451-461.
- Green, M.B.; A.M. LeBaron y W.K. Moberg (eds) 1990. *Managing Resistance*



- to *Agrochemicals*. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Gresshoff, P.M. 1996. *Technology transfer of plant bio-technology*. CRC Press, Boca Raton.
- Grigg, D.B. 1974. *The Agricultural Systems of the World: an evolutionary approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Grillo, E. 1989. Sistematización de la tecnología agraria en el contexto de desarrollo rural de la Sierra Peruana. En: H. Araujo y otros (eds.), *Ecología, agricultura y autonomía campesina en los Andes*, Fundación para el Desarrollo Internacional, Hohenheim.
- Harlan, J.R. 1976. The possible role of weed races in the evolution of cultivated plants. *Euphytica* 14:173-176.
- Harwood, R.R. 1979. *Small farm development. Understanding and improving farming systems in the humid tropics*. Westview Press, Boulder. 160 pp.
- Heichel, G.H. 1987. Stabilizing agricultural needs: Role of forages, rotations and nitrogen fixation, *Soil and Water Conservation*. Nov.-Dec. : 279-282.
- Hilbeck, A., M. Baumgartner, P.M. Fried, y F. Bigler 1998. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperb carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) *Environmental Entomology* 27: 460-487
- Hindmarsh, R. 1991. The flawed «sustainable» promise of genetic engineering. *The Ecologist* 21: 196-205.
- Hobbelink, H. 1991 *Biotechnology and the future of world agriculture*. Zed Books, Ltd., London. 159 p.
- Holt, J.S. y H..M. Le Baron 1990. Significance and distribution of herbicide resistance. *Weed Technol.* 4:141-149.
- Holt, J.S., S.B. Powles y J.A.M. Holtum 1993. Mechanisms and Agronomic Aspects of Herbicide Resistance. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology* 44: 203-229.
- Honduras, James, C. 1997. Global Status of Transgenic Crops in 1997. International Service for the Acquisition of Agric- Biotech Application. ISAA Briefs, Ithaca. 30 p.
- Hormick, S.B. 1997. Effects of a Genetically-Engineered Endophyte on the Yield and Nutrient Content of Corn (Interpretive summary available through Geocities Homepage: [www.geocities.com](http://www.geocities.com)).

- Hoy, M. A. y D. C. Herzog. 1985. *Biological control in agricultural IPM systems*. Academic Press, Orlando. 589 p.
- Hruska, A.J. y M. Lara Pavón 1997. *Transgenic Plants in Mesoamerican Agriculture*. Zamorano Academic Press.
- Huffaker, C. B. y P. S. Messenger. 1976. *Theory and practice of biological control*. Academic Press, New York. 788 p.
- James, C. 1997. *Global status of transgenic crops in 1997*. ISAA Briefs, Ithaca, N.Y.
- James, R.R. 1997. Utilizing a social ethic toward the environment in assessing genetically engineered insect-resistance in trees. *Agriculture and Human Values* 14: 237-249.
- James, R.R. 1997. Utilizing a Social Ethic Toward the Environment in Assessing Genetically Engineered Insect-Resistance in Trees. *Agriculture and Human Values* 14: 237-249.
- Jepson, P.C., B.A. Craft y G.E. Pratt 1994. Test systems to determine the ecological risks posed by toxin release from *Bacillus thuringiensis* gene in crop plants. *Molecular Ecology* 3: 81-89.
- Kaiser, J. 1996. Pests Overwhelm Bt Cotton Crop. *Science* 273: 423.
- Kareiva, P. 1986. Trivial movement and foraging by crop colonizers. En: Kogan, M. (ed.). *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice*. J. Wiley & Sons, New York, pp. 59-82.
- Kendall, H.W., R. Beachy, T. Eisner, F. Gould, R. Herdt, P.H. Ravon, J Schell y M.S. Swaminathan 1997. Bioengineering of crops. Report of the World Bank Panel on Transgenic Crops. World Bank, Washington, D.C. 30 p.
- Kennedy, G.G. y M.E. Whalon 1995. Managing Pest Resistance to *Bacillus thuringiensis* Endotoxins: constraints and incentives to implementation. *Journal of Economic Entomology* 88: 454-460.
- Kjellsson, G y V. Simonsen 1994. *Methods for risk assessment of transgenic plants*. Birkhauser Verlag, Basil. 214 p.
- Klee, G.A. 1980. *World Systems of Traditional Resource Management*. J. Wiley & Sons, NY.
- Kleinman, D.L. y J. Kloppenburg 1988. Biotechnology and university-industry relations: policy issues in research and the ownership of intellectual property at a land grant university. *Policy Studies Journal* 17: 83-96.
- Kloppenburg, J. y B. Burrows 1996. Biotechnology to the rescue? Twelve reasons

- why biotechnology is incompatible with sustainable agriculture. *The Ecologist* 26: 61-67.
- Kloppenborg, J.R. 1988. *First the seed: the political economy of plant technology, 1492-2000*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krimsky, S. y R.P. Wrubel 1996. *Agricultural biotechnology and the environment: science, policy and social issues*. University of Illinois Press, Urbana.
- Lacroix, R.L.J. 1985. Integrated Rural Development in Latin América. World Bank Staff Working Papers No. 716. The World Bank, Washington, D.C.
- Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable soil and water resources in the tropics. SMSS Technical Monograph 21, USDA Soil Conservation Service. Washington D.C.
- Landis, D. A. 1994. Arthropod sampling in agricultural landscapes: ecological considerations. En: *Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture*.
- Lappe, F.M. y B. Bailey 1997. Genetic Engineered Cotton in Jeopardy. [www2.cetos.org/1/toxalts/bioflop.html](http://www2.cetos.org/1/toxalts/bioflop.html)
- Lappe, F.M., J. Collins y P. Rosset 1998. *World Hunger: twelve myths*. Grove Press, N.Y. 270 p.
- Latin American Commission on Development and Environment (LACDE) (1990), *Our Own Agenda*, Inter-American Development Bank-UNEP, New York.
- Leibee, G.L. y J.L. Capinera 1995. Pesticide Resistance in Florida Insects Limits Management Options. *Florida Entomologist* 78: 386-399.
- Levidow, L. y S. Carr 1997. How biotechnology regulation sets a risk/ethics boundary. *Agriculture and Human Values* 14: 29-43.
- Levins, R. y R. Lewontin 1985. *The dialectical biologist*. Harvard University Press, Cambridge.
- Liebman, J. 1997. Rising toxic tide: pesticide use in California, 1991-1995. Report of Californians for Pesticide Reform and Pesticide Action Network. San Francisco.
- Lipton, M. 1989. *New Seeds and Poor People*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- Lycett, G.W. y D. Grieson 1990. Genetic Engineering of crop plants. Butterworths. London. 293 p.
- Lojan, L.I. 1992. El verdor de los Andes. Proyecto Desarrollo Participativo de los

- Andes, Quito.
- MacDonald, D.F. 1991. Agricultural biotechnology at the crossroads. NABC Report 3. Union Press of Binghamton.
- MacDonald, J.F. 1994. Agricultural biotechnology and the public good. NABC Report 6. Ithaca, NY.
- Mallet, J y P. Porter 1992. Preventing insect adaptations to insect resistant crops: are seed mixtures or refugia the best strategy? *Proc. R. Soc. London Ser. B. Biol. Sci.* 250: 165-169.
- Mander, J. y E. Goldsmith 1996. *The Case Against the Global Economy*. Sierra Club Books, San Francisco.
- Mannion, A.M. 1998. Can biotechnology contribute to sustainable agriculture? *Journal of Sustainable Agriculture* 11: 51-73
- Mateo, N y M. Tapia 1990. High mountain environment and farming systems in the Andean region of Latin America. En: Riley y otros (eds), *Mountain agriculture and crop genetic resources*. pp: 75-103. K.W. Oxford and IBH Pub.Co. New Delhi.
- Mayer, J.R. y otros 1992. Indicators of the ecological status of agroecosystems. En: D.H. Mackenzie (ed). *Ecological indicators*, Elsevier Applied Science. Vol 1: 92-109, London..
- Mc Guinness, H. 1993. Living soils: sustainable alternatives to chemical fertilizers for developing countries. Unpublished manuscript, Consumers Policy Institute, New York.
- Mc Isaac, G. y W.R. Edwards 1994. *Sustainable agriculture in the American midwest*. University of Illinois Press, Urbana.
- Mikkelsen, T.R., B. Andersen y R.B. Jorgensen 1996. The Risk of Crop Transgenic Spread. *Nature* 380: 31-32.
- Molnar, J.J. y H. Kinnucan 1989. *Biotechnology and the new agricultural revolution*. Westview Press, Boulder, CO.
- Mooney, P.R. 1983. The law of the seed. *Development Dialogue* 1:1-172.
- Morlon, P y otros (1982), *Tecnologías agrícolas tradicionales en los Andes centrales: perspectivas para el desarrollo*. COFIDE, Lima.
- Myerson, A.R. 1997. Breeding Seeds of Discontent: growers say strain cuts yields. New York Times (11/19/97 Business Section).

- Nabhan, G.P. 1983. Papago Indian Fields: arid lands ethnobotany and agricultural ecology. Unpubl. Ph.D. diss., University of Arizona, Tucson.
- Naseby, D.C. y J.M. Lynch 1998. Impacts of wild type and genetically modified *Pseudomonas fluorescens* on soil enzyme activities and microbial population structure in the rhizosphere of sea. *Molecular Ecology* 7: 617-625.
- National Academy of Sciences (1989), *Lost crops of the Incas*, NAS, Washington D.C.
- National Research Council 1996. *Ecologically based pest management*. National Academy of Sciences. Washington D.C.
- Nordland, D. A., R. L. Jones y W. J. Lewis. 1981. *Semiochemicals: their role in pest control*. J. Wiley and Sons. New York. 306 p.
- Norman, M.J. T. 1979. *Annual Cropping Systems in the Tropics*. University Presses of Florida, Gainesville.
- Office of Technology Assessment 1992. *A new technological era for American agriculture*. U.S. Government Printing Office. Washington. D.C.
- Onstad, D.W. y F. Gould 1998. Do dynamics of crop maturation and herbivorous insect life cycle influence the risk adaptation to toxins in transgenic host plants? *Environmental Entomology* 27: 517-522.
- Ortega, E. 1986. *Peasant Agriculture in Latin América and the Caribbean*, Joint ECLAC/ FAO, Agriculture Division. Santiago, Chile.
- Palm, C.J., D.L. Schaller, K.K. Donegan y R.J. Seidler 1996. Persistence in Soil of Transgenic Plant Produced *Bacillus thuringiensis* var. Kustaki -endotoxin. *Canadian Journal of Microbiology* (in press).
- Paoletti, M.G. y D. Pimentel 1996. Genetic Engineering in Agriculture and the Environment: assessing risks and benefits. *BioScience* 46: 665-671.
- Papavizas, G. C. 1981. *Biological control in crop production*. Beltsville Symposia in Agricultural Research. Allanheld, Osmun Pub. London. 461 p.
- Pedigo L. P. y G. D. Buntin (eds.). *Insect Parasitoids*. Academic Press, London.
- Peferoen, M. 1997. Progress and prospects for field use of Bt genes in crops. *Trends in Biotechnology*. 15: 173-177.
- Pimentel, D. y H. Lehman 1993. *The pesticide question*. Chapman and Hall, N.Y.
- Pimentel, D. *et al.* 1992. Environmental and economic costs of pesticide use. *Bioscience* 42: 750-760.

- Pimentel, D. y M. Pimentel. 1979. *Food, Energy and Society*. Edward Arnold, London.
- Pimentel, D., M.S. Hunter, J.A. LaGro, R.A. Efroymson, J.C. Landers, F.T. Mervis, C.A. McCarthy y A.E. Boyd 1989. Benefits and Risks of genetic Engeeniring in Agriculture. *BioScience* 39: 606-614.
- Posner, J.L. y M.F. McPherson 1982. Agriculture on the steep slopes of tropical América: Current situation and prospects for the year 2000, *World Development* 10: 341-353.
- Prescott-Allen, R. y C. Prescott-Allen. 1981. In situ conservation of crop genetic resources: areport to the International Board for Plant Genetic Resources. IBPGR, Rome.
- Pretty, J.N. 1995. *Regenerating Agriculture: Policies and practices for sustainability and self-reliance*. Earthscan Pub. Ltd., London.
- Price, P. W. 1981. Semiochemicals in evolutionary time. En: Semiochemicals: *Their role in pest control*. pp: 251-279. D. A. Nordlund, R. L. Jones and W. J. Lewis. eds. J. Wiley & Sons, NY.
- Querol, A. 1986. Recursos genéticos: nuestro tesoro olvidado. Industrial Gráfica S.A., Lima.
- Rabb, R. L., Stinner, R. E. y van den Bosch, R. 1976. Conservation and augmentation of natural enemies. En: Huffaker, C. B. AND Messenger, P. S. (eds.). *Theory and Practice of Biological Control*. Academic Press, New York, pp. 233-253.
- Radosevich, S.R.; J.S. Holt y C.M. Ghera 1996. *Weed Ecology: implications for weed management* (2nd edition). John Wiley and Sons. New York.
- Raeburn, P. 1995. *The last harvest: the genetic gamble that threatens to destroy American agriculture*. Simon and Schuster, N.Y.
- Reijntjes, C., B. Haverkort y A. Water-Bayer. 1992. *Farming for the future: an introduction to low-external-input and sustainable agriculture*, McMillan, London.
- Rengifo, G. 1987. *La agricultura tradicional en los Andes*, Horizonte, Lima.
- Rengifo, G. y E. Regalado. 1991. *Vigorización de la chacra Andina*. PRATEC-PPEA, Lima.
- Reynel, C. y C. Felipe-Morales. 1987. Agroforestería tradicional en los Andes del Perú, Proyecto FAO/HOLANDA/INFOR, Lima.

- Rhoades, R.E. 1984. *Breaking new ground: agricultural anthropology*. International Potato Center, Lima.
- Richards, P. 1985. *Indigenous Agricultural Revolution*. Westview Press, Boulder.
- Riechert, S. E. y T. Lockley. 1984. Spiders as biological control agents. *Ann. Rev. Entomology*. 29:294-320.
- Risch, S. J., Andow, D. y Altieri, M. A. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Environmental Entomology* 12: 625-629.
- Rissler, J. y M. Mellon 1996. *The Ecological Risks of Engineered Crops*. MIT Press, Cambridge.
- Robinson, R.A. 1996. *Return to resistance: breeding crops to reduce pesticide resistance*. AgAccess, Davis, CA.
- Root, R. B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassicae oleraceae*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Rosen, D., F. D. Bennett y J. L. Capinera. 1994. *Pest management in the tropics: Biological control-A Florida perspective*. Intercept. Andover. 737 p.
- Rosset, P. y M. Benjamin. 1993. *Two steps backward, one step forward: Cuba's nationwide experiment with organic agriculture*. Global Exchange, San Francisco. 56 p.
- Rosset, P.M. y M.A. Altieri 1997. Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction in sustainable agriculture. *Society and Natural Resources* 10: 283-295.
- Royal Society 1998. Genetically modified plants for food use. Statement 2/98. Londres. 16 p.
- Scottish Crop Research Institute 1996. Research Notes, Genetic Crops Community Institute.
- Snow, A.A. y P. Moran 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *BioScience* 47: 86-96.
- Southwood, T. R. E. y Way, M. J. 1970. Ecological background to pest management. En: Rabb, R. L. y Guthrie, F. E. (eds.). *Concepts of Pest Management*. North Carolina State University, Raleigh, pp. 6-29.



- Steinbrecher, R. A. y P.R. Mooney 1998. Terminator technology: the threat to food security. *The Ecologist* 28: 276-279.
- Steinbrecher, R.A. 1996. From Green to Gene Revolution: the environmental risks of genetically engineered crops. *The Ecologist* 26: 273-282.
- Swift, M. J. y J. M. Anderson. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. En: *Biodiversity and Ecosystems Function*. E. Schultz y H. A. Mooney (eds.). Springer-Verlag, N.Y.
- Swift, M. S., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C.K. Ong y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. En: H. A. Mooney et al. (eds.). *Functional roles of biodiversity: a global perspective*. J. Wiley and Sons, N. Y., pp. 261-298.
- Tabashnik, B.E. 1994. Delaying Insect Adaptation to Transgenic Plants: seed mixtures and refugia reconsidered. *Proc. R. Soc. London* B255: 7-12.
- Tabashnik, B.E. 1994. Genetics of Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39: 47-79.
- Tapia, M.E. 1990. *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. FAO-RLAC, Santiago.
- Thompson, P.B. 1995. *The spirit of the soil: agriculture and environmental ethics*. Routledge, London.
- Thrupp, L.A. 1998. *Cultivating Diversity: agrobiodiversity and food security*. World Resources Institute, Washington D.C.
- Toledo, V.M. 1980. La ecología del modo campesino de producción. *Antropología y Marxismo* 3:35-55.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Mapes y C. Toledo 1985. *Ecología y Autosuficiencia Alimentaria*. Siglo XXI Editores. D.F., México.
- Treacey, J.M. (1989), Agricultural terraces in Peru's Colca Valley: promises and problems of an ancient technology. En Bowder (ed), *Fragile lands of Latin America*. pp: 209-229. J.O. Westview Press, Boulder.
- Tripp, R. 1996. Biodiversity and Modern Crop Varieties: sharpening the debate. *Agriculture and Human Values* 13: 48-62.
- Union of Concerned Scientists 1996. Bt Cotton Fails to Control Bollworm. *The Gene Exchange* 7: 1-8.
- Valladolid, J. (1986), Cultivos andinos: importancia y posibilidades de su recuperación y desarrollo. Mimeo, Ayacucho.



- Vallve, R. 1993. The decline of diversity in European agriculture. *The Ecologist* 23: 64-69.
- Van den Bosch, R. y P. S. Messenger. 1973. *Biological control*. Intext Educational Publishers. New York. 180 p.
- Van den Bosch, R. y Telford, A. D. 1964. Environmental modification and biological control. En: DeBach, P. (ed.). *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. Chapman and Hall, London, pp. 459-488.
- Van Emden, H. F. 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Horticulture* 17: 121-126.
- Van Emden, H. F. 1990. Plant diversity and natural enemy efficiency in agroecosystems. En: MacKauer, M., Ehler, L. y Roland, J. (eds.). *Critical Issues in Biological Control*. Intercept, Andover, pp. 63-80.
- Vandermeer, J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.
- Vandermeer, J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 26:201-224.
- Vandermeer, J. y I. Perfecto. 1995. *Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction*. Food First Books, Oakland.
- Waage, J. y D. Greathead. 1986. *Insect parasitoids*. Academic Press, London. 389 p.
- Webber, D.J. (ed) 1990. *Biotechnology: assessing social impacts and policy implications*. Greenwood Press, Westport, CT.
- Whitcomb, W. H. y K. O. Bell. 1964. Predaceous insects, spiders and mites in Arkansas cotton fields. *Arkansas Agric. Exp. Sta. Bull.* 690: 1-84.
- Wilken, G.C. 1970. The ecology of gathering in a Mexican farming region. *Econ. Bot.* 24:206-245.
- Wilken, G.C. 1977. Integrating forest and small-scale farm systems in middle America. *Agro-Ecosystems* 3:291-302.
- Wilkes, H.G. y K.K. Wilkes. 1972. The green revolution. *Environment* 14:32-39.
- Williams, B. J. y C. Ortiz-Solario. 1981. Middle American folk soil taxonomy. *Annals of the Assoc. Amer. Geographers* 71:335-358.
- Wratten, S. D. 1988. The role of field margins as reservoirs of natural enemies. En: *Environmental management in agriculture*. J. R. (ed.). Belhaven Press, London.