

CAPÍTULO 5

AGROECOLOGÍA: UNA PERSPECTIVA INTEGRADORA PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SOCIOAGROECOSISTEMAS

DAVID TARRASÓN

5.0 Introducción

La agroecología como alternativa: de la modernización de la agricultura a un enfoque crítico

Los cambios experimentados en el pasado siglo, acrecentados en los años '50 con la llamada revolución agrícola contemporánea y, en las décadas de los '60-70, con la Revolución Verde, provocaron una fuerte intensificación de la producción agrícola. Estos cambios originaron un modelo de agricultura basada en variedades mejoradas y en altos insumos químicos y de energías procedentes de combustibles fósiles, orientado a maximizar la producción y las ganancias. Los avances tecnológicos asociados a este modelo (irrigación, uso de fertilizantes inorgánicos, plaguicidas, herbicidas, mecanización del laboreo del suelo, modificación genética de especies vegetales), han permitido un fuerte crecimiento del sector agroindustrial, triplicando el rendimiento de las tierras de cultivo del mundo en el último siglo (Riechmann, 2003). Sin embargo, a partir de los años '90, se ha producido un estancamiento de la producción agrícola neta *per capita*, como resultado de la reducción de la producción anual y del aumento de la población (Gliessman, 2002). La reducción de la producción se debe a la sobreexplotación de recursos y a los efectos sobre las tierras agrícolas que la agricultura moderna ha provocado. En este sentido, el modelo agrícola desarrollado bajo esta óptica maximizadora lleva asociados varios problemas ambientales, económicos y sociales.

- **Impactos ambientales.** El porcentaje de tierras cultivadas degradadas en el mundo creció de un 10% en 1970 a un 40 % en 1990 (Oldeman, 1994). Las principales manifestaciones de degradación del suelo se deben a la pérdida de suelo (erosión eólica e hídrica), compactación, pérdida de materia orgánica y diversidad microbiana, empobrecimiento de la reserva de nutrientes y salinización, todas ellas relacionadas con las prácticas agrícolas que sustentan la agricultura moderna (labranza intensiva combinada con el monocultivo y las rotaciones de cultivo cortas) (Gliessman, 2002).

Para alcanzar altos rendimientos de los cultivos, se requiere un uso intensivo de agroquímicos. Los fertilizantes sintéticos son producidos a partir de derivados del petróleo y de depósitos minerales. Cuando son aplicados al suelo, una parte es rápidamente absorbida por las plantas, pero el resto, debido a su naturaleza mineral, se pierde por lixiviación, provocando la eutrofización de los ecosistemas acuáticos y la contaminación de fuentes de agua potable. Los plaguicidas, la mayoría de ellos elaborados con metales tóxicos (arsénico, plomo, mercurio o zinc), por su alta toxicidad y tiempo de permanencia en el medio, causan daños graves sobre la salud y el ambiente¹.

El uso excesivo de agua en la agricultura ha provocado el agotamiento de fuentes de agua (explotación de acuíferos subterráneos, drenaje de ríos etc.) y la modificación del curso de los ríos, llegando a ejercer un fuerte impacto sobre los patrones hídricos globales.

La agricultura moderna ha ido uniformizando cada vez más los cultivos a partir de la variedades seleccionadas (ver apartado 5.5), que responden a los intereses de las grandes empresas de la agroindustria. A esto hay que sumarle los efectos de las prácticas agrícolas sobre el ambiente (degradación de suelos, contaminación de agua, deforestación, desertización, etc.) que revierten directamente sobre la biodiversidad. Todo ello ha ocasionado grandes pérdidas de biodiversidad agropecuaria, como lo demuestra la alta tasa de desaparición de la diversidad genética de cultivos y de las razas de ganado tradicional (entre un 2 y un 5 % anual, respectivamente) (Money, 2002)

- **Impactos económico y social.** La agricultura moderna oculta costes que no son medidos por los precios del mercado. En este sentido, la crítica de la economía ecológica resalta que sus valores de producción están mal medidos, al no incluir estos costes o **externalidades** (efectos nocivos, tales como contaminación de alimentos y agua, destrucción o abandono de recursos genéticos, uso de energías no renovables, etc.) (Martínez-Alier, 1993), que se descargan sobre el resto de la sociedad, las generaciones futuras y los demás seres vivos con quienes compartimos la Biosfera².

La mayor parte de los pobladores del planeta que padecen hambruna, no son consumidores urbanos que compran los alimentos, sino agricultores, productores y vendedores de productos agrícolas³. Las

1 Sobre el tema léase Naredo, J.M. (2001).

2 Según Pimentel et al. (1995), en EE.UU la erosión del suelo debida a la agricultura causa daños por valor de 44 billones de dólares cada año.

3 Casi tres cuartas partes de la población del planeta que padece desnutrición vive en áreas rurales (Mazoyer and Roudart, 1998).

razones que explican esta realidad responden a un distanciamiento cada vez mayor entre la agricultura moderna, resultado de la revolución agrícola contemporánea, y la agricultura tradicional y/o campesina. Estas diferencias no solo se producen entre países del norte y del sur, sino también entre los mismos países en vías de desarrollo, donde debido a la dificultad de acceso a la tierra por parte de los campesinos con pocos recursos, se ha mantenido la estructura de tenencia de los grandes latifundistas, que han podido mecanizarse y aprovechar las ventajas de contratación de estos países. Esto ha generado una gran desigualdad dentro de muchos países de América Latina, África y Asia, donde las condiciones de trabajo en las grandes explotaciones representan una ventaja competitiva de cara a la agroexportación.

Por ejemplo, hoy en día un obrero de una gran explotación agrícola de un país en vías de desarrollo, ganando menos de 1000 dólares por año, puede llegar a producir más de 1000 t de cereales, lo que reduce el coste de la mano de obra por kg de cereal a menos de 0,001\$ (Mazoyer et Roudart, 1998).

Otra causa de esta desigualdad es que, para la mayoría de campesinos del mundo, no es posible competir con los precios internacionales de los productos básicos que, en muchos casos, son inferiores a su coste de producción, de manera que tienen dificultades para vivir de su trabajo y renovar sus medios de producción, creándose así una fuerte dependencia de productos de consumo básico importados⁴. A esto, hay que añadirle el descenso de los costes de transporte y la liberalización creciente del comercio entre países (tratados de libre comercio) que excluyen todavía más a la mayoría de los agricultores, que no pueden competir con los bajos precios de los mercados internacionales (Mazoyer et Roudart, 1998). Esto ha ocasionado un gran desequilibrio entre los países desarrollados que, con un porcentaje de activos agrícolas minoritario⁵, marcan las directrices de las políticas agrarias mundiales y establecen los tratados internacionales para la comercialización de productos agropecuarios, y los países en vías de desarrollo que, con un porcentaje de activos agrícolas mayoritario, están sujetos a las dinámicas y cambios globales.

4 Un claro ejemplo de ello es la crisis del maíz en México. Desde la puesta en marcha, en enero de 1994, del Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN), el precio del maíz ha ido incrementando hasta un 738 por ciento.

5 En 1997, según la Organización Internacional del Trabajo, en Europa oriental el número de activos agrícolas era del 20%, en América Latina del 25%, en África y en Asia alrededor del 63%, mientras en la Unión Europea apenas alcanzaba el 5,2% (OIT/97/23) <http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/inf/pr/1997/23.htm>

En la actualidad, muchos agricultores (campesinos, agricultores familiares, etc.) han ido abandonando las estrategias que les permitían controlar el riesgo de pérdida de cultivos frente a eventos naturales. El abandono de muchas prácticas de manejo tradicional se ha debido principalmente a una paulatina erosión de conocimientos, (acelerada por la ampliación de la frontera agrícola) y a la intensificación productiva.

5.1 La agroecología, un nuevo paradigma productivo

En respuesta a los efectos dañinos de la agricultura moderna (cambios de uso del suelo, efectos nocivos de los pesticidas, pérdida de biodiversidad, erosión cultural, etc.), en la década de los setenta aparecieron una serie de movimientos que empezaron a establecer las bases para un nuevo paradigma productivo. Leff (2001), define la Agroecología, como *“un nuevo paradigma productivo, como una constelación de ciencias, técnicas, saberes y prácticas que se configuran para una agricultura más sostenible, orientada hacia el bien común y el equilibrio ecológico del planeta, y como una herramienta para la autosubsistencia y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales”*.

5.1.1 Agroecología, ecosistema y sociedad

En una entrevista⁶, Ramón Margalef define la ecología como *“una red del conocimiento para entender como son las cosas”*, una ciencia que ha permitido comprender las relaciones existentes entre los distintos compartimentos que conforman el ecosistema, en lo que conocemos como procesos ecológicos. La visión ecológica en la agroecología parte de la idea de que un campo de cultivo es un ecosistema (Hecht, 1999) y de que, por tanto, está sujeto a las relaciones complementarias entre los organismos vivos y su ambiente, que se mantiene dentro de un estado de equilibrio dinámico (Odum, 1996).

Mas allá del simple conocimiento de los ecosistemas productivos, la agroecología nos proporciona un enfoque que refleja la naturaleza de los agroecosistemas⁷ como resultado de una coevolución entre cultura y ambiente (Gliessman, 1990). La agroecología ve necesario un cambio de las premisas dominantes de la ciencia moderna, pasando a un enfoque holístico, que tenga

6 Ramon Margalef, *modest founding father of ecological science*. Entrevista en *“The Guardian”*. Michael Eade (1/06/2004).

7 Mazoyer et Roudart (1998) entienden el (agro)ecosistema como una modalidad de explotar el ambiente históricamente construido y sostenible. Un sistema de fuerzas productivas adaptadas a las condiciones bioclimáticas en un espacio determinado, que responde a las condiciones sociales y a las necesidades del momento. Este enfoque enfatiza la interacción entre componentes del sistema a diferentes niveles.

en cuenta las incertidumbres de los sistemas, que considere los fenómenos según el tiempo y el lugar en que se producen y reafirme la pluralidad de pensamiento (Noorgard and Sikor 1999).

Por lo tanto, se hace necesaria una nueva forma de investigación, con la participación y valorización incluyente del conocimiento local de los agricultores, que pasan de ser objeto de estudio a ser sujetos, junto al investigador, de las transformaciones en curso. Se plantea, pues, el desarrollo como un proceso coevolucionista entre el sistema socio-cultural (conocimiento/información, valores, tecnología y organización) y el sistema ambiental (Noorgard and Sikor 1999).

De esta forma, la agroecología ha surgido como un enfoque nuevo del desarrollo agrícola que define los principios ecológicos necesarios para desarrollar sistemas de producción sostenibles dentro de marcos socioeconómicos y culturales específicos.

5.1.2 Una agricultura sostenible

La agroecología, más allá de la producción del sistema, plantea una estrategia que tiene como objetivo un desarrollo sostenible, estable y equitativo de los agroecosistemas (Conway, 1985). En la figura 5.1, se observa que, si bien la agricultura moderna presenta mayor producción a corto plazo, la estabilidad, sustentabilidad y equidad son menores que en un agroecosistema tradicional.

La **productividad** del agroecosistema es el resultado del producto valorizado en relación al ingreso de recursos (cosecha o renta generada por hectárea, o producción total de bienes y servicios por familia, dependiendo de la naturaleza del producto y de los recursos empleados); la **estabilidad** es la constancia productiva dada bajo un conjunto de condiciones ambientales y económicas. Esta depende de la capacidad del sistema para volver al estado inicial después de un disturbio temporal (**resiliencia**), en función de sus características intrínsecas, así como de la naturaleza e intensidad de la perturbación. La **sustentabilidad** es la capacidad de un agroecosistema para mantener la producción a lo largo del tiempo, a pesar de las restricciones ecológicas y socioeconómicas a largo plazo. La **ecuanimidad** o **equidad** es el grado de igualdad de distribución de la productividad del sistema agrícola entre los productores y consumidores (Conway, 1993).

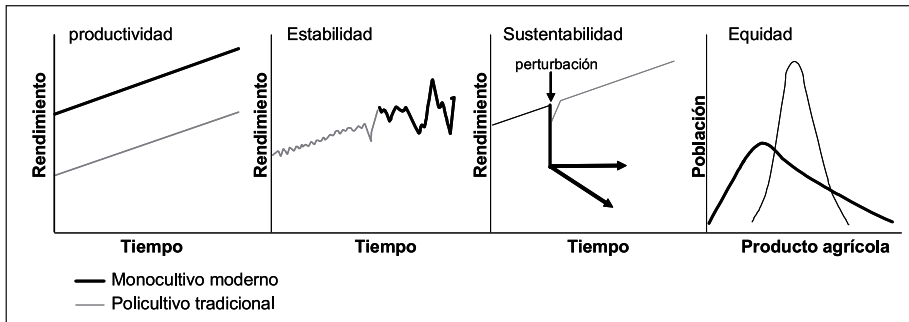


Figura 5.1.- Propiedades de los Agroecosistemas. Fuente: adaptado de Conway and Barbier, 1990.

El concepto de sustentabilidad aparece después de la Conferencia de Estocolmo, en 1972. A pesar de ello, todavía hay un gran debate alrededor del término y su significado real. Como aducen Caporal y Hernández (2000), se trata de un proceso todavía incipiente que requiere grandes transformaciones en los estilos de vida, de producción y de consumo aún dominantes en nuestras sociedades.

En primer lugar, se trata de desarrollar sistemas agrícolas que reduzcan al mínimo las entradas y que enfatizen las interacciones y los sinergismos entre los numerosos componentes de los agroecosistemas, mejorando así la eficiencia biológica y también la protección del medio ambiente (Altieri, 1995).

Un agroecosistema sostenible debe asegurar el mantenimiento de su capacidad productiva, su capacidad autorreguladora y la preservación de la biodiversidad ecológica.

Los procesos ecológicos afectan directamente la capacidad productiva. De esta forma, las estrategias de la agricultura sostenible tienen que ir dirigidas a minimizar los impactos negativos sobre: (i) los patrones de flujo de energía y nutrientes (capacidad fotosintética del cultivo, flujo energético a través de las redes tróficas, la materia orgánica como fuente de carbono y energía, la fuerza de trabajo, etc.); (ii) los ciclos biogeoquímicos, reguladores de la fertilidad del suelo, donde el balance de entradas y salidas es fundamental; (iii) los procesos hidrológicos, el estado de calidad del suelo, la cubierta vegetal, etc.; (iv) los procesos sucesionales⁸ en cultivos asociados.

Más allá de la sustentabilidad ecológica, la agroecología trata de hallar una sinergia entre ecología, economía y ciencias agrarias, para así implementar estrategias que puedan dar respuesta a la degradación ambiental y la inequidad social. Para ello, desde la agroecología se propone un planteamiento de las

8 Al observar el desarrollo de los cultivos, podemos diferenciar distintas etapas o ciclos de desarrollo (véase MILZ, J. 1997).

acciones en planes de desarrollo rural con propuestas que provengan desde abajo. Con este fin, la participación activa de los actores puede ayudar a romper condiciones de exclusión y a suministrar a las poblaciones locales la base para una implicación más directa en las iniciativas de desarrollo (Clayton et al., 1997).

El concepto de sustentabilidad agrícola no es una receta de condiciones y prácticas predefinidas, sino parte de un proceso de aprendizaje, un concepto abierto. De acuerdo con Pretty (1995): “(...) *la agricultura sostenible no tiene definición unívoca y predeterminada sino que es un enfoque abierto (...) el conocimiento se construye socialmente (...) es importante una capacitación de los actores para aprender constantemente la condición de las transformaciones en acto y saber intervenir sobre ellas (...) un sistema de aprendizaje e interacción son necesarios para dar espacio a las múltiples perspectivas de las partes interesadas*”.

Simultáneamente, se deben incrementar las interacciones y la exploración mutua entre los actores sociales (ej. comunidades rurales, productores individuales etc.) y los actores externos del proceso de desarrollo en curso, de manera que el investigador o especialista desempeñe el papel de facilitador (o acompañante) de un proceso, más que el de dirigente o controlador (Chambers, 1994). De esta manera, se podrán llevar a cabo acciones acordes con las prioridades locales, alimentadas por el diálogo con el conocimiento local. Esto ha motivado que el pensamiento agroecológico haya incorporado también otros enfoques, provenientes de la antropología y la sociología, necesarios para que pueda darse de verdad un proceso orientado los actores que pueda garantizar el éxito de las acciones dirigidas a un desarrollo rural sostenible. Este requiere la formación de alianzas estratégicas entre investigadores, comunidades rurales, proyectos, tomadores de decisiones, y otros actores relevantes en actividades de desarrollo rural y conservación ambiental (Méndez y Gliessman 2002).

5.2 Concepto y dinámica de los agroecosistemas

El concepto de **agroecosistema** se refiere a que los sistemas ecológicos están en la base de todos los sistemas agrícolas, a pesar de que esta relación sea muy tenue en algunos casos (Conway, 1993). Por esto, para su estudio se analizan los procesos, la estructura y otras características de un ecosistema natural: flujo de energía, ciclo de nutrientes, mecanismos de regulación de poblaciones, etc. (Gliessman, 2002).

La diferencia entre un agroecosistema y un ecosistema natural dependerá en gran medida de las prácticas de manejo empleadas por el agricultor. En este sentido, el flujo de energía está fuertemente alterado por la naturaleza de las entradas al sistema (insumos externos) y las salidas con la cosecha. El ciclo de nutrientes también experimenta una fuerte alteración, ya que una parte

de la materia (elementos y compuestos esenciales para la vida) no se recicla, al extraerse con la cosecha o perderse por lavado (lixiviación, con el agua de escorrentía, etc.).

En la figura 5.2 vemos como un campo de arroz que ocupó el lugar de una antigua várzea inundable mantiene, aunque alterados, los procesos ecológicos básicos: competencia entre cultivo e invasoras, consumo del arroz por las plagas, relación de estas con sus enemigos naturales, etc. En la misma figura, podemos observar también que el grado de alteración de los procesos, de la dependencia de la materia y energía externa (agroquímicos, combustibles fósiles, semillas, etc.) y de los mecanismos de regulación de las poblaciones (control de plagas e invasoras, etc.), responderá a las dinámicas de cooperación/competición social y económica existentes que, en gran medida, estarán influenciadas por las diferentes lógicas (o racionalidades) del productor y por las políticas nacionales e internacionales.

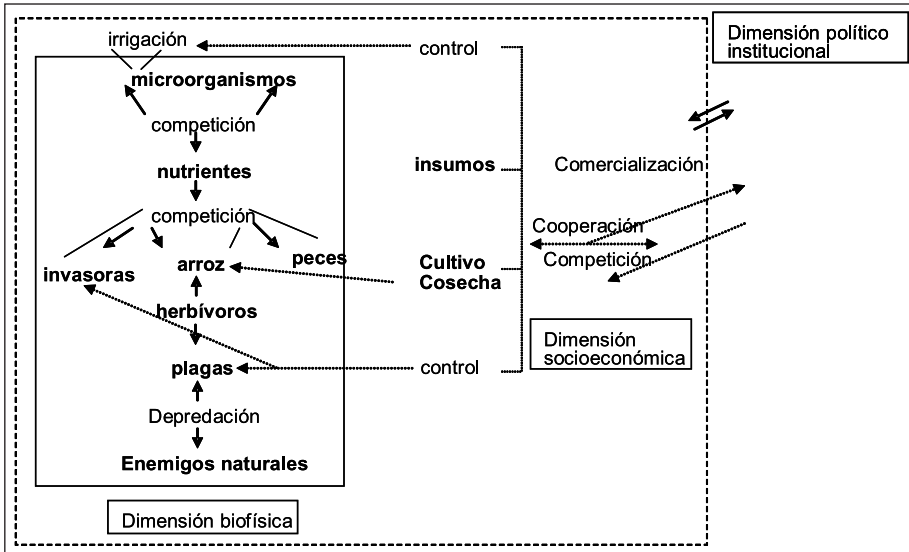


Figura 5.2.- Componentes e interacciones en un agroecosistema. Fuente: adaptado de Conway, 1993

De esta forma, vemos como el agroecosistema nace de la interacción entre la dimensión biofísica, donde tienen lugar los procesos ecológicos, y la dimensión socioeconómica que influye y está influida, directa o indirectamente, por la racionalidad productiva del agricultor. Las políticas y los arreglos institucionales definen los márgenes de maniobra de los productores y se redefinen constantemente desde las negociaciones locales.

5.3 Principios ecológicos en el manejo del suelo

El suelo es un cuerpo tridimensional natural, cuyas propiedades son el resultado de los efectos integrados de la acción del clima y los organismos que actúan sobre el material original y bajo la influencia de relieve a lo largo del tiempo (Tan, 1994). Esta definición ilustra muy bien la **ecuación de Jenny**, (1941), donde el estado de desarrollo de un suelo es función del clima (cl), la litología (li), los organismos (bio), el relieve (re), el tiempo (t) y el uso antrópico (h), expresado como:

$$S = f(cl, li, bio, re, t, h)$$

Estos factores han actuado e interactuado durante amplios periodos de tiempo (eras y periodos geológicos), de modo que la lentitud y complejidad de los procesos que forman los suelos los convierten en un recurso no renovable a escala humana.

El suelo, como sustento de cultivos y otras actividades agropecuarias, requiere ser manejado de modo que no se alteren sus funciones clave. Entre estas, destacamos su función como suministrador de agua y elementos nutritivos que requieren las plantas y su papel determinante en la producción de alimentos y biomasa. Ello nos conduce al concepto de **calidad**, donde un suelo de calidad es aquel que puede realizar sus funciones específicas sosteniendo la productividad biológica y manteniendo la calidad ambiental, de tal forma que se promueva la salud de plantas, animales y hombres (Doran and Parkin, 1994).

En términos de producción agrícola, por lo tanto, la calidad del suelo se refiere a su capacidad para sostener la productividad del sistema, de modo que existe una fuerte relación entre calidad del suelo y agricultura sostenible (Lal, 1998). Un paso importante para mejorar la calidad del suelo y alcanzar la sostenibilidad agrícola, es identificar las constricciones del suelo que limitan la producción del cultivo (p.ej. profundidad efectiva del suelo, profundidad del horizonte organomineral, compactación, capacidad de retención de agua, tasa de infiltración, textura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, contenido en materia orgánica, etc.), y manejarlo en función de ellas, para mejorarlo y evitar su degradación.

5.3.1 Manejo sostenible del suelo

Para un buen manejo del suelo, es importante entender que este cuerpo tridimensional compuesto de aire, agua, elementos minerales y materia orgánica, funciona como un sistema vivo y, como tal, tiene que estar alimentado y protegido adecuadamente. La alimentación proviene de la entrada de materia, que es procesada (descomposición y mineralización) por los organismos del suelo (mesofauna y microorganismos) y transformada en energía y elementos esenciales para las plantas. La protección del suelo, frente a la incidencia directa de la lluvia y el sol, es fundamental para ofrecer las condiciones de temperatura,

humedad y porosidad óptimas para el desarrollo de los organismos del suelo y de sus funciones metabólicas, que contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la mejora de la estructura del mismo, entre otras.

5.3.1.1 La materia orgánica como fuente de alimento y protectora del suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por tres clases de material orgánico: 1) plantas, animales y microorganismos vivos, 2) fragmentos de organismos (animales y vegetales) muertos (materia orgánica activa) y, 3) componentes orgánicos descompuestos (materia orgánica estable o humus).

La MOS confiere una serie de propiedades al suelo, que se relacionan con atributos físicos (estructura, retención de agua), nutricionales (aporte de nutrientes) y químicos (capacidad de intercambio catiónico, agente quelante de micronutrientes). Esto hace que la presencia de materia orgánica se relacione generalmente con una mayor calidad del suelo, proveyéndole mayor resistencia frente a perturbaciones (Reeves, 1997; Bouma and Droogers, 1998; Masciandaro and Ceccanti, 1999).

Para obtener un suelo de calidad, será importante desarrollar un **manejo integrado** del suelo y del cultivo (Magdoff, 1987), de modo que se favorezcan las entradas de materia orgánica para reemplazar las salidas de nutrientes, como sustituto de otras fuentes de materia necesarias para el crecimiento de los cultivos. En este sentido, para eliminar por completo el uso de fertilizantes y agroquímicos para la mejora de la fertilidad del suelo, los sistemas del manejo agroecológico plantean una serie de estrategias.

Los suelos cultivados tienden a experimentar una rápida disminución en los niveles de materia orgánica. Sin embargo, esta disminución depende del tipo de cultivo y las prácticas de manejo del suelo. Si comparamos dos suelos de dos comunidades campesinas andinas (Cceroncancha y Paltamachay), la primera con descanso pastoreado de más de 5 años y abono orgánico (estiércol animal), y la segunda sin descanso y con uso de fertilizante mineral, se observan niveles de MOS superiores (>50%) en los suelos agrícolas de la primera comunidad (Figura 5.3)

Esto refleja que hay una entrada de materia orgánica que se va renovando año tras año. Esta proviene, por un lado, de la incorporación de la biomasa herbácea, que se desarrolla en el período de descanso y representa una entrada de materia orgánica que se va humificando lentamente, haciendo aumentar el contenido de materia orgánica del suelo. Al mismo tiempo, la presencia de cobertura herbácea que crece durante el periodo de descanso protege el suelo contra la erosión y evita el lavado de materia orgánica, al reducir el impacto directo de la lluvia y el arrastre de suelo superficial.

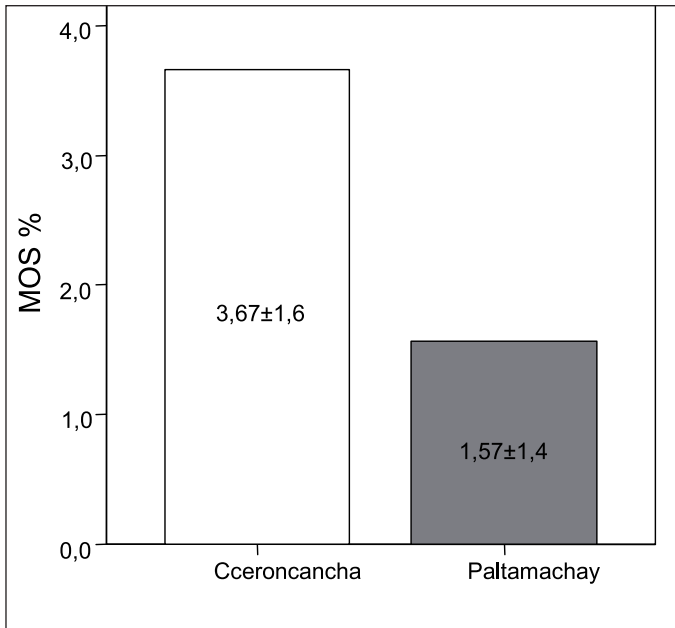


Figura 5.3.- Niveles de materia orgánica en los suelos (MOS) muestreados de dos comunidades andinas (Cceroncancha y Paltamachay) de la Provincia de Huancavelica, Perú. Fuente: datos propios no publicados.

Este ejemplo ilustra muy bien que, para mantener niveles óptimos de materia orgánica, debemos mantener sus entradas. Para ello, se puede recurrir a un conjunto de prácticas agrícolas, tales como la aplicación de los restos de cultivo, el manejo de cultivos de cobertura, la aplicación de enmiendas orgánicas (estiércol animal, etc.), etc.

5.3.1.2 El manejo físico del suelo: la labranza mínima o labranza cero

La necesidad de reducir los impactos negativos sobre los suelos, derivados de algunas prácticas agrícolas, ha llevado a los agricultores a considerar prácticas de bajo impacto como alternativas a los sistemas de labranza convencionales (Cannell and Hawes, 1994). Por esta razón, se han investigado nuevas técnicas de labranza que reduzcan y eviten la pérdida de suelo cultivable. La labranza de conservación, definida por la *Conservation Tillage Information Center* (CTIC), excluye las técnicas de labranza convencional que remueven el suelo y entierran los restos vegetales. Existen cinco tipos de sistemas de labranza de conservación: (i) **labranza cero** (*no-tillage*), (ii) **labranza con mulch** (*mulch tillage*), (iii) **labranza en franja** o zonal (*strip or zonal tillage*), (iv) **labranza en camellón** (*ridge tillage*) y (v) **labranza reducida** o mínima. Todos estos sistemas incluyen el

manejo de restos vegetales de las cosechas anteriores, que se distribuyen sobre la superficie del suelo. Con estos residuos (el 30% de los restos vegetales), se forma una capa protectora sobre el suelo. Dejando la tercera parte del residuo vegetal, se reduce de manera significativa la erosión del suelo (Velásquez et al., 1997). La labranza de conservación según las estimaciones de la FAO (2001), se practica en 45,5 millones de ha de tierras agrícolas en el mundo, principalmente en Norte y Sudamérica, en Sudáfrica y en otras áreas semiáridas, imponiéndose como alternativa a la labranza convencional.

Los efectos beneficiosos del uso de cultivos de cobertura y la utilización de mulch⁹ han sido descritos por muchos autores, en otros Haynes (1980) y Lal, et al. (1991). Estos efectos se pueden resumir en cuatro funciones fundamentales: (i) protección contra la erosión (al mejorar de la estructura del suelo), (ii) mejora de la capacidad de retención de agua, (iii) aumento de la fertilidad del suelo y reciclaje de nutrientes y (iv) refugio para los insectos enemigos naturales de plagas y aumento de la biota edáfica y su diversidad (incremento de la actividad metabólica, efectos en el control de plagas y enfermedades, etc.). A nivel global, contribuyen a la reducción de la emisión de gases invernadero (Lal, 1997). En general, los sistemas de labranza de conservación se benefician de los efectos positivos del uso de mulch. A pesar de ello, este tipo de manejo se ha implementado principalmente en monocultivos (con lo cual, para obtener rendimientos óptimos, se continúan aplicando fertilizantes, herbicidas y otros insumos externos) o en cultivos transgénicos. Este hecho ha forzado a muchos agricultores, sobre todo de áreas marginales con pocos recursos económicos, a buscar y/o recuperar prácticas de manejo tradicionales. La **labranza orgánica de conservación** (plantación directa), en lugar de herbicidas, utiliza para el control de malezas estrategias basadas en el uso de **cultivos de cobertura mixtos** (combinación de avena, centeno, frijol de palo, rábano, etc.) que, con sus restos vegetales, forman una capa de mulch sobre la cual posteriormente se plantan maíz, frijol y trigo (diversificación espacial y temporal del agroecosistema). De esta forma, se reduce mucho la interferencia de malezas durante la estación de crecimiento del cultivo y se alcanzan niveles agronómicos aceptables.

Según observaciones de campesinos que manejan los sistemas de labranza orgánica de conservación, los beneficios que se obtienen de estos diseños del agroecosistema se deben a los distintos cultivos de cobertura usados, a la cantidad y espesor de sus restos vegetales, al tiempo de permanencia en forma de mulch y a la dinámica de las poblaciones de malezas. El uso de cultivos de cobertura mixtos puede facilitar el mantenimiento de una biota compleja de enemigos naturales. Es muy importante el manejo del hábitat, por los efectos

9 “*Living mulch cropping systems*” se define como “*mixed cropping system, in which one partner acts chiefly as a live soil cover for a considerable part of the life cycle of the main crop*” (Feil and Liedgens, 2001, en Liedgens et al., 2004).

que tiene sobre los artrópodos benéficos (depredadores y parasitoides) y la mejora de su efectividad. Muchos estudios demuestran que existe una relación positiva entre la diversidad de la cubierta vegetal y la presencia de artrópodos benéficos. El manejo de hábitat, por tanto, es importante ya que los enemigos naturales pueden requerir acceso a hospederos alternos, recursos alimentarios para los adultos, hábitats de hibernación y un suministro constante de alimentos y microclimas apropiados (Rabb et al. 1976).

Finalmente, de acuerdo con Lal (1998), para aumentar la calidad del suelo es necesario adoptar un enfoque holístico, a través del cual edafólogos y agrónomos cooperen con científicos de otras disciplinas (geógrafos, geólogos, ecólogos, etc.), debido a que la degradación de los suelos responde a numerosos procesos interactivos.

5.4 Principios ecológicos en el manejo de insectos plagas, enfermedades y plantas espontáneas

5.4.1 Control de insectos plagas

Entre los principales problemas asociados a la agricultura moderna se encuentran los sistemas de monocultivo, que reducen la diversidad espacial y temporal¹⁰. Los monocultivos son más propensos a la invasión por plagas (Power and Kareiva, 1990), ya que en ellos no se logran las interacciones entre organismos necesarias para regular la estabilidad de las poblaciones y amortiguar la incidencia de invasores con alto potencial reproductivo (Begon et al., 1995).

Por otro lado, el uso de agroquímicos (insecticidas, fungicidas, etc.), del que dependen los monocultivos, no solo afecta a la población plaga, sino que también elimina a sus enemigos naturales. De esta forma, el cultivo pierde su capacidad de respuesta frente a la invasión de nuevas plagas resistentes a los plaguicidas.

La alternativa a los insecticidas y agroquímicos para el control de plagas pretende suministrar al agroecosistema los mecanismos de autorregulación de los ecosistemas naturales. Esta regulación, llamada **control biológico**, es definida por DeBach (1964) como “*la acción de parasitoides, depredadores o*

¹⁰ El término “**agrodiversidad**”, propuesto por Brookfield and Stocking (1999), incluye aspectos ecológicos, tecnológicos, socioeconómicos e históricos. La **agrobiodiversidad** es un concepto más específico y se refiere a la diversidad temporal y espacial, derivada de la presencia de componentes bióticos (cultivos, malezas, insectos, micro-organismos) en un sistema agropecuario. La diversidad espacial de un agroecosistema se puede expresar en base a la cantidad de especies cultivadas y a la proporción de superficie que ocupan, mientras que la diversidad temporal se puede definir por la secuencia de cultivos o condiciones de las distintas parcelas que componen un sistema. Como cada una de ellas posee una historia particular, se la vincula al número de lotes.

patógenos para mantener la densidad de la población de un organismo plaga o un promedio menor del que ocurriría en ausencia de este". El aumento en intensidad de población de los llamados "**enemigos naturales**" depende de la densidad de la población plaga, de manera que los mismos depredadores o parasitoides regulan la población de herbívoros.

El control biológico se puede realizar por:

- **Importación**, que consiste en la introducción de especies exóticas depredadoras de insectos plaga. Los principales problemas se deben a la dificultad de adaptación al nuevo medio y por lo tanto, se obtiene un porcentaje muy bajo de éxito en el establecimiento de estos enemigos naturales exóticos. Además, no es raro que algunos de estos organismos introducidos se transformen a su vez en plaga, debido a la falta de enemigos naturales que controlen sus poblaciones.
- **Aumentación o incremento** es la manipulación directa de enemigos naturales para aumentar su efectividad. Esto se puede lograr mediante una producción masiva de enemigos naturales exóticos (alóctonos) o autóctonos y una liberación periódica. El mayor riesgo puede ser debido a la alteración de la cadena trófica (incertidumbre a medio o largo plazo).

Estas dos estrategias de control biológico requieren de investigaciones que minimicen las incertidumbres de los posibles efectos provocados por la liberación de especies para el control de plagas (exóticas o nativas) y optimicen la eficacia de la intervención (p. ej. sobre la dinámica poblacional para conocer la relación temporal enemigo natural-plaga)

Finalmente, mediante la conservación o manejo, se facilita el mantenimiento de una biota compleja de enemigos naturales. Esto se puede obtener asegurando a los enemigos naturales sus requisitos ecológicos en el ambiente del cultivo. Existen varias estrategias para conservar las poblaciones de depredadores o parasitoides. Es muy importante el manejo de hábitat por los efectos que tiene sobre los artrópodos benéficos (depredadores y parasitoides) y sobre la mejora de su efectividad. Muchos estudios demuestran que existe una relación positiva entre la diversidad de la cubierta vegetal y la presencia de artrópodos benéficos. El manejo de hábitat, por tanto, es importante ya que los enemigos naturales pueden requerir acceso a hospederos alternos, recursos alimentarios para los adultos, hábitat para hibernación, un suministro constante de alimentos y microclimas apropiados (Rabb et al. 1976).

Para satisfacer la estrategia de manejo de plagas, es necesario el refinamiento y adaptación continua de los enfoques de control biológico y su aplicación. Además, en cada zona, las especies plaga y los enemigos naturales de estas varían

de acuerdo a la vegetación y fauna dentro y fuera del cultivo, al tipo y intensidad de manejo, etc. (Altieri y Nicholls, 2000).

La FAO define el **Manejo Integrado de Plagas** (MIP) como un sistema de manejo de plagas que comprende una variedad de métodos de control, incluidos la conservación de los enemigos naturales, la rotación de cultivos, los cultivos mixtos y el uso de variedades resistentes a las plagas para mantener las poblaciones de la plaga a niveles inferiores de los que producen pérdidas económicas. Según Flint and Van Den Bosch (1981)¹¹, un programa de MIP debería considerar todas las acciones de control de plagas disponibles, incluyendo la no acción, y evaluar la interacción potencial entre varias tácticas de control, prácticas culturales, meteorología, otras plagas y el cultivo a proteger. El MIP emplea plaguicidas, pero solamente cuando el seguimiento sistemático de las poblaciones de plagas y los factores naturales de control indican su necesidad¹². (Figura 5.4)

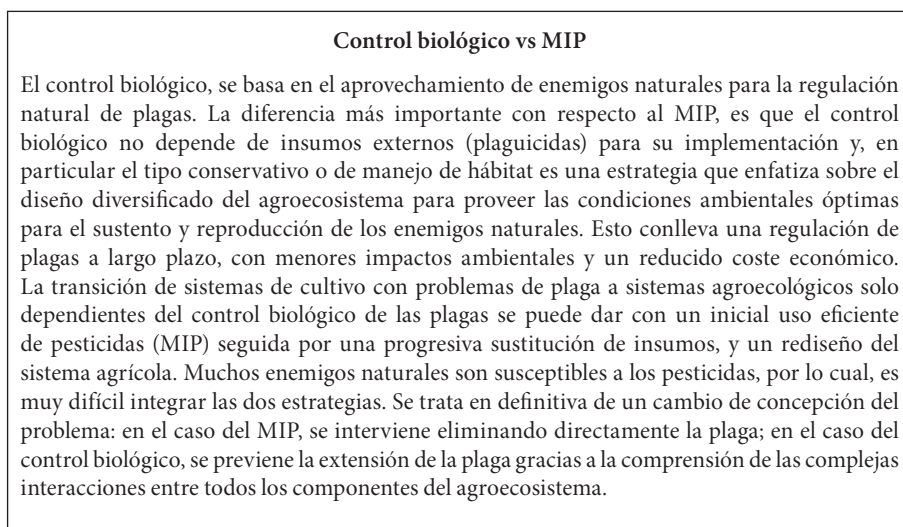


Figura 5.4.- Control Biológico vs MIP.

11 Flint, M.L. and van den Bosch, R. (1981). *Introduction to Integrated Pest Management*. Plenum Press, New York.

12 En España, existen proyectos con uso de manejo de plagas integrado (p. ej. en gestión de cítricos y en el uso de varias especies fitófagas bajo control) con buenos resultados, como en el caso de la cochinilla acanalada, *Icerya purchasi* (controlada por *Rodolia cardinalis*), o *Serpeta fina*, *Insulaspis gloverii* (controlada por *Encarsia elongata*) o satisfactorios, como en el caso de la mosca blanca algodonosa, *Aleurothrixus floccosus* (controlada por *Cales noacki*), el ácaro rojo, *Panonychus citri* (controlado por *Euseius stipulatus*), o el cotonet, *Pseudococcus citri* (controlado mediante sueltas de *Cryptolaemus montrouzieri* y *Leptomastix dactylopii*) (Jacas y Gómez, 2001)

Otro aspecto a considerar es el contexto socio-económico y político en que se llevan a cabo estos programas. Por ejemplo, bajo los cambios socioeconómicos experimentados a través de una apertura a modelos capitalistas, los países de la ex Unión Soviética y la República Popular China han ido abandonado, en los últimos años, la estrategia de control biológico aumentativo, puesto que requiere mucha investigación y mano de obra abundante y organizada. Efectivamente, el coste monetario de las prácticas de control biológico es un parámetro que debe ser estudiado en cada contexto.

5.4.2 Control de enfermedades

Al comparar sistemas de agricultura intensiva y extensiva, se ha observado que, a cuanto mayor es la intensificación, más frecuente es la proliferación de enfermedades epidérmicas (Nicholls and Altieri, 2002). Así pues, podemos imaginar que la diversificación del cultivo y un manejo del agroecosistema libre de insumos externos pueden, a priori, reducir la incidencia de enfermedades.

La agroecología no pretende solucionar un problema (en este caso erradicar una enfermedad), sino que interviene de forma preventiva, fortaleciendo la inmunidad del ecosistema. La diversificación genética del cultivo (combinación de variedades dentro del cultivo, combinación de especies, secuencia de cultivos no emparentados, etc.) y el incremento de patógenos antagonistas son elementos claves para el manejo de enfermedades. El manejo temporal del cultivo también es un elemento clave (p. ej. la siembra adelantada del cultivo con respecto a la aparición del patógeno puede evitar la enfermedad) o bien la rotación de cultivos. También existe el manejo mediante el control biológico, en este caso por antagonismo. Los microorganismos antagónicos se anticipan al patógeno y lo eliminan por competencia. Para este tipo de manejo, se necesita conocer bien la enfermedad, los microorganismos benéficos y los ciclos de vida respectivos. Una de las prácticas más efectivas, por el hecho de no tener que introducir los microorganismos en el campo de cultivo, es la aplicación directa de abonos verdes en el suelo. Esto se debe a las propiedades que la materia orgánica confiere al suelo, al incrementar la biomasa microbiana y su actividad metabólica y, al mismo tiempo, disminuir la actividad de los propágulos. La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica, durante su descomposición, genera gran cantidad de productos químicos que pueden actuar en el control de los patógenos del suelo. Entre otros, el amonio y un gran número de sustancias volátiles y de ácidos orgánicos, pueden producir una acción nematocida directa o afectar a la eclosión de los huevos o la movilidad de los juveniles de nematodos; los fenoles y los taninos son también nematocidas a ciertas concentraciones (Mian and Rodríguez-Kában, 1982).

Cada planta es susceptible al ataque de un amplio espectro de patógenos. El establecimiento de una infección en una planta depende de la interacción

entre los genes de resistencia en el huésped y sus correspondientes genes de patogenicidad en el parásito. Así pues, la resistencia de la planta a enfermedades puede mediarse también incrementando la diversidad genética. Existen dos clases de **resistencia del huésped** a los parásitos de los cultivos: vertical y horizontal. La **resistencia vertical** está controlada por genes únicos y es una forma temporal de resistencia genética que disminuye cuando aparecen en escena nuevos agentes patógenos. Por el contrario, en la **resistencia horizontal**, participan muchos genes y es una forma más duradera de resistencia a enfermedades.

5.4.3 Manejo de plantas espontáneas

Las plantas espontáneas, consideradas tradicionalmente como “malezas” o plantas indeseables o “malas hierbas”, no son más que plantas que compiten con el cultivo. En este caso, se trata de competencia por los recursos. En general, se trata de especies que ocupan nichos ecológicos todavía no colonizados (suelo libre de cobertura dentro del cultivo) y que, por su alta tasa de crecimiento (estrategas de la r o alternancia r - k), afectan el desarrollo del cultivo. Así pues, la interacción cultivo/maleza es un factor que puede afectar el rendimiento del cultivo. Para minimizar o controlar el efecto negativo de esta interacción, una de las estrategias es establecer el periodo crítico de competencia de malezas. Se trata de intervenir sobre las malezas en el momento oportuno para que no coincida con el período crítico. Incrementar la heterogeneidad dentro del cultivo, es decir diversificarlo en especies vegetales y en variedades dentro de una misma especie, favorece la colonización del suelo por parte de las plantas cultivadas y limita el establecimiento de la maleza. Es preciso también controlar la densidad y tipo de maleza, ya que no todas las especies de maleza tienen el mismo efecto sobre el cultivo. Factores muy importantes son las características del suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas) y su fertilidad. La entrada de nutrientes, principalmente de N y P es aprovechada por las plantas espontáneas y, por lo tanto, es importante regular adecuadamente el ciclo de nutrientes y eliminar su aporte directo, sobre todo en forma mineral. El grado de competencia variará en función de una serie de factores, que dependen del tipo de manejo y, por tanto, forman parte de la estrategia para el manejo de espontáneas a niveles que no sean perjudiciales para el cultivo. Estos factores son: la distancia entre hileras del cultivo (para evitar la insolación directa que favorece el crecimiento de otras plantas), una alta densidad de siembra (ya que la maleza compite directamente con el cultivo), el tiempo de siembra, la rotación y combinación de cultivos y los cultivos de cobertura precediendo al cultivo. De esta forma, se logra la exclusión de plantas espontáneas. Al mismo tiempo, cuando las plantas de cobertura perecen, sus restos quedan depositados en la superficie del suelo, formando una capa de *mulch* que permite un control eficiente de las plantas espontáneas. Mientras el efecto nocivo sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo es debido a la competencia por la disponibilidad de recursos comunes, la otra forma de interferencia cultivo/maleza ocurre a través de las interacciones bioquímicas entre plantas o **alelopatía**, que implica la liberación

al entorno, por parte de una planta, de un compuesto químico que ocasiona un efecto sobre otra (Begon *et al.*, 2006).

La gran complejidad de las interacciones que se dan dentro de un agroecosistema nos hace pensar que, para alcanzar un eficiente control de plantas “indeseadas”, se requiere un enfoque que vaya más allá de las interacciones cultivo/maleza, un enfoque agroecológico que nos permita elucidar los mecanismos ecológicos que determinan la dinámica temporal y espacial de las malezas y sus interacciones con los demás componentes del sistema (suelo -fertilidad, humedad, etc.-, cultivo -alelopatía, etc-) Al mismo tiempo, el intercambio de conocimientos con el agricultor nos permitirá conocer y valorizar aquellas prácticas de manejo adecuadas para el control de malezas. Finalmente, la historia del agroecosistema (¿qué cultivos?, ¿cuánto tiempo?, ¿qué densidad?, etc.) nos podrá dar informaciones útiles para hacer predicciones sobre la evolución de las malezas y/o respuesta del cultivo.

5.5 El papel de la biodiversidad en los agroecosistemas: manejo, conservación y recuperación

Algunos de los componentes del agroecosistema tienen un papel ecológico clave en procesos como la regulación genética, el control de plagas, el reciclaje de nutrientes, etc. En este sentido, la biodiversidad contribuye al restablecimiento del balance ecológico del agroecosistema, protegiéndole frente a agresiones externas¹³.

La agricultura convencional ha tenido y sigue teniendo un fuerte impacto sobre la biodiversidad. En primer lugar, una agricultura basada en el monocultivo y uniformizada ha provocado una fuerte erosión de la base genética agropecuaria. A la pérdida de diversidad, hay que sumarle la pérdida de variedades locales y criollas, que han sido sustituidas por variedades mejoradas¹⁴. Más recientemente, el desarrollo de la biotecnología ha favorecido la difusión de plantas genéticamente modificadas¹⁵ que han ido ocupando vastas extensiones agrícolas.

La agroecología se basa en sistemas de cultivos complejos y diversificados y concibe un diseño alternativo del agroecosistema, donde cada uno de los componentes tiene una función específica (directa e indirecta) destinada a la optimización del funcionamiento del mismo. En este sentido, el grado de diversidad del agroecosistema depende de cuatro características principales: (i) la diversidad de

13 Un sistema complejo tiene más posibilidades de autorregulación que uno sencillo, y por tanto la estabilidad frente a perturbaciones es mayor (Riechmann, 2003).

14 Sobre la cuestión: Money (2002).

15 Vandana Shiva (2001) plantea los efectos de la biotecnología y, en particular de los **Organismos Genéticamente modificados** (OGM), donde la introducción de formas de vida manipuladas genéticamente puede tener efectos imprevisibles y romper la capacidad de un ecosistema concreto para recuperar el equilibrio.

la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema, (ii) la durabilidad de varios cultivos dentro del agroecosistema, (iii) la intensidad de manejo y (iv) la distancia de separación entre el agroecosistema y la vegetación natural (Southwood and Way, 1970¹⁶). Estas características representan lo que se conoce como biodiversidad funcional o planificada, es decir la biodiversidad asociada con los cultivos y el ganado que el agricultor ha incluido de forma intencionada (Vandermeer and Perfecto, 1995).

Las plantas que hoy en día forman parte de nuestra dieta se desarrollaron a partir de lo que se conoce como **parientes silvestres**. En un primer momento, los agricultores produjeron las **razas tempranas**, variedades locales desarrolladas en sistemas agrícolas primitivos que mantienen características muy similares a las de sus parientes silvestres a pesar de haber sido domesticadas. La característica principal de estas razas tempranas es que se adaptaron perfectamente a las especificidades del ambiente. El mejoramiento genético de estas razas, iniciado a finales del S. XIX, dio lugar a los cultivares, que sirvieron de base genética para las variedades cultivadas actuales, de alto rendimiento pero altamente dependientes de agroquímicos.

En la figura 5.5 se ilustra el espectro de los recursos genéticos con sus cinco categorías de germoplasma, que muestran la existencia de un *continuum* evolutivo que tiene su origen en los parientes silvestres hasta llegar a los cultivares modernos, según Hoyt (1988).

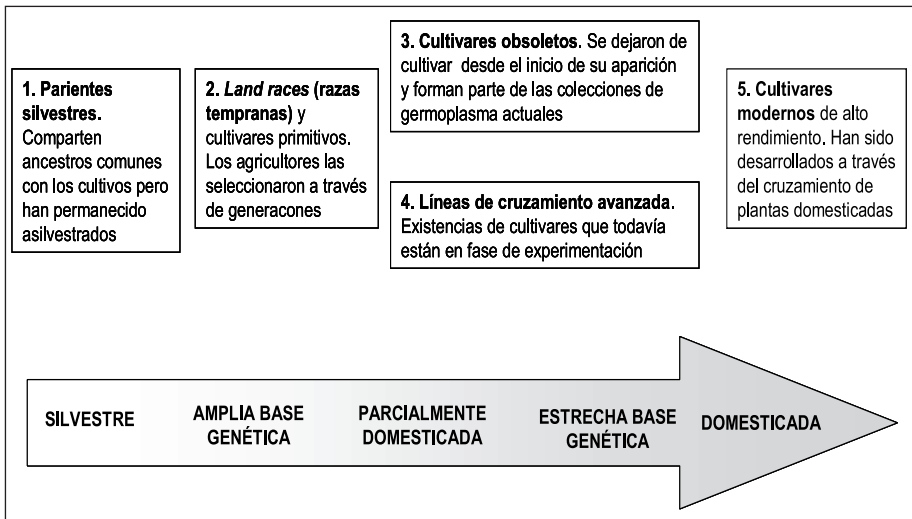


Figura 5.5.- Continuum evolutivo donde están representadas las cinco categorías de germoplasma, desde los parientes silvestres a los cultivares modernos. A partir de Hoyt, 1988.

16 En Altieri y Nicholls (2000).

La **erosión genética**¹⁷ experimentada en el pasado siglo ha llevado a la necesidad de conservar y valorar las variedades locales de cultivos y de sus parientes silvestres, estas últimas por su potencial contribución en la mejora de la producción de alimentos, al poder originar nuevas variedades de cultivos resistentes a plagas y enfermedades (IPGRI, 2005) y la necesidad de conservarlas. Existen dos estrategias básicas para la conservación de recursos genéticos: *in situ* (en el lugar), en su hábitat natural, y *ex situ* (fuera del lugar), en bancos de genes en forma de semilla, tejido o polen, en plantaciones, o en otras colecciones vivas (jardines botánicos, viveros, etc.). Si embargo, la **conservación *in situ*** juega un papel muy importante en la preservación de la agrobiodiversidad de los sistemas agrícolas.. Un ejemplo de ello es la labor llevada a cabo por la Coordinadora de Ciencia y Tecnología en los Andes (CCTA) que, desde 2001, lidera el Proyecto Nacional “Conservación In Situ de los Cultivos Nativos y sus Parientes Silvestres” (Proyecto In Situ), donde el objetivo final “es el conservar in situ los cultivos nativos y sus parientes silvestres, así como los conocimientos tradicionales relacionados con la conservación, todo esto como una base de seguridad alimentaria no solo en el Perú sino de la humanidad”. De acuerdo con su concepción, la CCTA destaca tres aspectos fundamentales: (1) agrobiodiversidad en el campo de cultivo o “chacra”, (2) los parientes silvestres, como fuente de diversidad para los cultivos y (3) la cultura, como elemento fundamental. De esta forma, el proyecto destaca el carácter genético, ecológico y cultural asociado al agroecosistema: “*Los Andes han hecho de las quebradas, las planicies y las laderas verdaderos jardines sobre los cuales las sociedades humanas han tejido una alfombra multicolor de culturas*” (Juan Torres Guevara, 2005).

5.6 Diseño espacial y temporal de un sistema agroecológico

Las principales características de los sistemas agroecológicos son la valorización de la diversidad espacial y temporal en el manejo de las especies y la facilitación del reciclaje de nutrientes. Podríamos decir que se trata de ordenar las especies vegetales en el tiempo y el espacio (Farrell y Altieri 1995), de manejar los restos vegetales (cultivos de cobertura) y de reponer continuamente la pérdida de materia orgánica.

Existen varias estrategias para diversificar agroecosistemas, entre las que destacamos: (i) la **rotación de cultivos**, que consiste en alternar en el tiempo distintas especies sobre un mismo terreno, (ii) los **policultivos**, que consisten en

17 La erosión genética es la pérdida gradual de diversidad genética. Cuando la diversidad genética puede ser empleada en programas de domesticación o de mejoramiento, la diversidad hallada en el material original viene considerada como recurso genético UICN. UNESCO. FAO. 1989.

intercalar distintos cultivos (combinación de especies anuales y/o perennes) y (iii) la **agroforestería**.

Como ejemplo, los sistemas agroforestales¹⁸ basan su estructura en una estratificación de la vegetación, combinando árboles, cultivos y animales. Varios son los tipos de sistemas agroforestales en función de su estructura. Los más comunes son: (i) la **agrosilvicultura**, que combina cultivos y árboles, (ii) la **silvopastura**, donde se maneja simultáneamente el ganado y árboles con múltiple propósito (maderables, forrajero, etc.) y (iii) la **agrosilvopastura**, donde se manejan simultáneamente cultivos, árboles frutales, ganado, etc.

La figura 5.6 ilustra, para un sistema agroforestal en Tlaxcala, México (Farrell 1984), el funcionamiento de un sistema agroforestal, donde se pueden ver las interacciones entre los distintos componentes del sistema. Los árboles, en el estrato superior, interceptan directamente la radiación solar, el agua de lluvia y el viento. De esta forma, se crea un microambiente de sombra y disminuye la evapotranspiración del cultivo. Asimismo, la caída de hojas al suelo representa una reposición de materia orgánica que contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y su estructura, creando condiciones buenas para el desarrollo del cultivo.

Los sistemas agroforestales o cultivos asociados, etc. tienen que superar los problemas de complementariedad y minimizar las interferencias que provoca la competencia por los recursos (luz, agua, nutrientes, etc.). Para ello, es importante respetar la dinámica sucesional natural. Liebman (1995) habla de **complementariedad** cuando existe un uso combinado de los recursos por parte de los componentes vegetales del sistema, y también cuando se produce una facilitación entre especies. Esta puede ser temporal (p. ej. cuando se aprovechan los distintos periodos de maduración de las especies, minimizando así la competencia) o espacial (p. ej. la exploración de una mayor superficie de suelo debido a la complementariedad de patrones de raíces espaciales, etc.). También se refiere a la complementariedad fisiológica, que se produce cuando se pueden explotar las distintas características de la fisiología de la planta (p. ej. cultivos mixtos de plantas C4 / C3, como maíz/fríjol para optimizar al máximo la radiación solar; uso de plantas leguminosas, que transfieren N al suelo, etc.).

18 Según ICRAF (1982): «La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local».

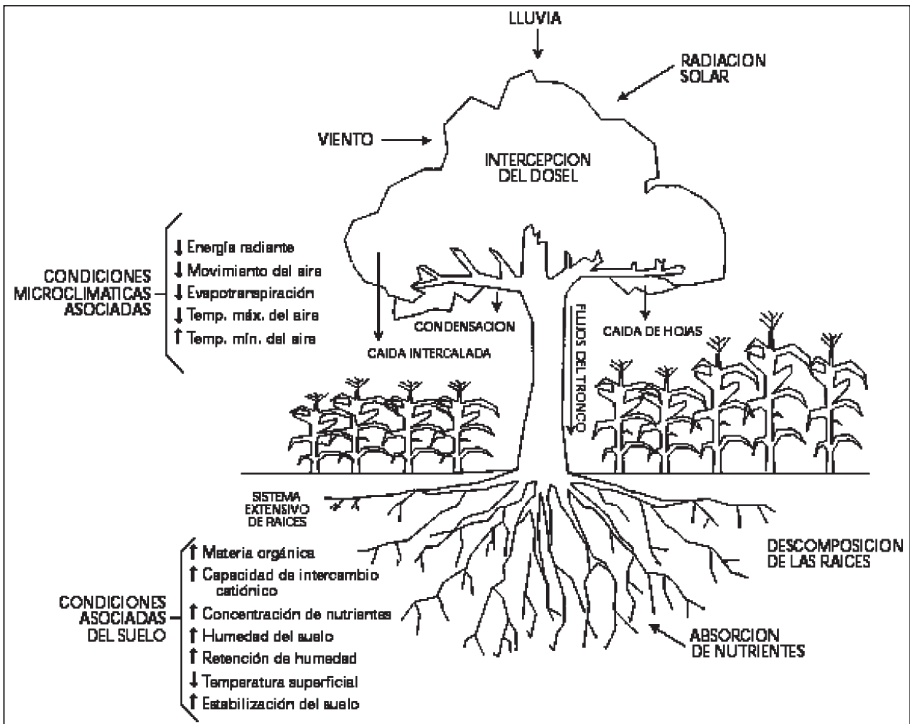


Figura 5.6.-. Funcionamiento de un sistema agroforestal en Tlaxcala, México. Fuente: Farrell, 1984.

5.7 Los agroecosistemas tradicionales

Los agroecosistemas locales tradicionales que todavía persisten, aunque modificados y evolucionados, se desarrollaron en tiempos y lugares donde la única fuente energética provenía de la mano de obra humana y de los recursos locales. El aislamiento de las comunidades y una agricultura no competitiva han favorecido el mantenimiento, por parte de las poblaciones locales, de estrategias de manejo en un ambiente cultural y ecológico específico. Estos sistemas tienen en común su capacidad de responder a riesgos naturales y de adaptarse a condiciones muchas veces extremas.

En este capítulo, no podemos ser exhaustivos al presentar los innumerables ejemplos de agriculturas tradicionales. Nos referiremos, entonces, al caso de las poblaciones andinas, caracterizadas por su capacidad para superar los riesgos climáticos de heladas y sequías, mediante un articulado control vertical de los pisos ecológicos, la adaptación del calendario agrícola y el manejo de la humedad del suelo (Morlon, 1981; Dollfus, 1991). La figura 5.7 ilustra un ejemplo del complejo manejo tradicional de un agroecosistema andino con adaptación a limitaciones locales.

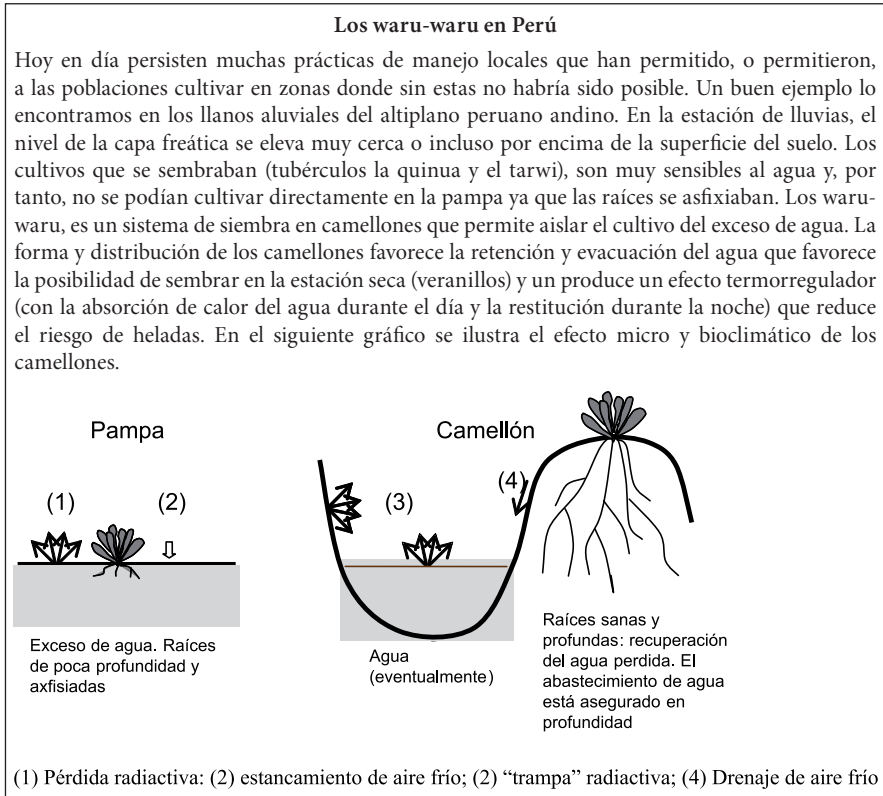


Figura 5.7.- Ejemplo del manejo tradicional de un agroecosistema andino con adaptación a limitaciones locales. Fuente: Morlon, 1998.

Este tipo de sistemas contribuye al mantenimiento de servicios ecológicos locales (conservación de agua y suelos, regulación de los ciclos biogeoquímicos, control de plagas, etc.) y globales (secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, etc.) Asimismo, la elevada diversidad que albergan estos sistemas proporciona a las poblaciones locales el mantenimiento de su *oekonomia* doméstica (productos no maderables, plantas medicinales, madera para la construcción de casas, leña, etc.), garantizando la satisfacción de sus necesidades básicas, su soberanía alimentaria y la diversificación de la dieta y, en algunos casos, posibilita entradas económicas a través del intercambio local o venta de productos. Finalmente, estos sistemas protegen los valores culturales de las poblaciones (sagrados, espirituales, etc.) y son un medio de conservación y transferencia del conocimiento tradicional.

Los agroecosistemas tradicionales son fruto de la capacidad de observación, transferencia de conocimiento y aprendizaje de los campesinos, es decir de la naturaleza experimental del conocimiento tradicional. Altieri (1995) recoge

diferentes formas de conocimiento local (conocimiento tradicional, nativo técnico, rural y la etnociencia), a partir de los estudios de varios autores:

- conocimiento del ambiente físico (suelos, clima, vegetación, fauna, etc.) y de los mecanismos de funcionamiento de los ecosistemas, que resultan en estrategias multidimensionales productivas (Toledo *et al*, 1985)
- prácticas de manejo tradicional, incluido el diseño del sistema, técnicas y herramientas (p. ej. manejo de la fertilidad del suelo, manejo del agua, control de la sucesión y protección de los cultivos, etc.)
- sistemas de clasificación popular (p. ej. suelos) y taxonomías biológicas (fauna y vegetación) y conocimiento etnobotánico tradicional

En general, las principales características estructurales de los sistemas tradicionales son la valorización de la diversidad espacial y temporal en el manejo de las especies (policultivos, rotación de cultivos, interseembra, etc.), la conformación de una arquitectura compleja y estratificada (p. ej. sistemas agroforestales), el manejo y conservación de la diversidad genética (p. ej. la conservación *in situ* de variedades de tubérculos por parte de las comunidades campesinas andinas) y un manejo integrado de los diferentes componentes del agroecosistema (agua, suelos, nutrientes, biota, etc.). En la tabla 5.1 se muestra la correspondencia entre algunos principios agroecológicos en la agricultura andina (Rist, 1992).

Principio agroecológico	Agricultura andina
Mantenimiento de la biodiversidad	Aprovechamiento y manejo de la biodiversidad de especies y ecotipos en un amplio rango de ambientes geográficos
Arreglos del espacio que facilitan la adaptación del sistema en ambientes difíciles.	Adaptación del cultivo a diversas zonas agroecológicas y pisos ecológicos.
Empleo de energía endosomática y poca dependencia de insumos externos	Manejo del ganado para la restitución de la fertilidad del sistema de cultivo. Selección de semillas nativas. Herramientas manuales o de tracción animal para el laboreo de la tierra, transporte, etc.
Control ecológico de plagas y enfermedades.	Tecnologías campesinas para el control de plagas en cultivos y parásitos internos.
Integración cultural, que enfatiza el conocimiento tradicional.	Cultura andina, tecnología y conocimiento tradicional conforman una unidad dinámica abierta a otras fuentes externas.
Bajos costos de producción económicos y energéticos.	Predominancia de insumos internos que minimizan los costos de producción, permitiendo el automantenimiento y la sustentabilidad del agroecosistema

Tabla 5.1.- La agroecología en la agricultura tradicional andina. Fuente: Rist, 1992.

5.7.1 La agricultura tradicional en el control de riesgos ambientales

El paso del huracán Mitch, entre octubre y noviembre de 1998 por América Central provocó, además de miles de víctimas, grandes pérdidas en el sector agropecuario. En Honduras, las cifras oficiales revelaron las siguientes pérdidas¹⁹: 6600 muertos, 1 393 669 personas que perdieron su hogar, 11 998 heridos, 850 millones de dólares en pérdidas en plantaciones de bananos, 800 toneladas de café perdidas, 10 millones de dólares de pérdidas en ganadería, el 70% de los cultivos destruidos, 189 puentes destruidos y 1000 millones de dólares en daños a infraestructuras físicas.

La devastación producida por el huracán, puso en evidencia un sistema de cultivo que existía en el sur del departamento de Lempira (Honduras), el **Quesungual**. Se trata de un sistema agroforestal que ha mostrado tener una alta resiliencia frente a perturbaciones (FAO, 2005). La denominación de Quesungual se adoptó por el ser el nombre de la comunidad donde se observó.

El Sistema Agroforestal Quesungual, se basa en el manejo de la cobertura del suelo y consiste en podar los árboles a cierta altura (más o menos entre 1,20 y 1,80 m) para sembrar el maíz y maicillo de primera y el frijol de postrera. Las características de este sistema se describen en la tabla 5.2.

Después de años de monitorización, en los sistemas Quesungual se obtuvieron resultados significativos en:

- Producción. Se ha observado mayor rendimiento en la cosecha de maíz (16%) y frijol (11%).
- Reducción de la erosión. En sistemas Quesungual se produce una reducción de la erosión de hasta un 93% por comparación con el sistema tradicional de quema (Michelle Deugd, 2000)²⁰
- Fertilidad del suelo. La implementación del sistema Quesungual favorece la recuperación de la fertilidad del suelo, con un incremento del 1,25% en el contenido de materia orgánica (CIAT, 2000)²¹, disminuyendo la dependencia de fertilizantes químicos.
- Retención de humedad. Se han observado cambios significativos en la humedad del suelos en la época seca, que llega a ser un 20% más alta que en sistemas de quema.

19 Fuente: Organización Panamericana de la Salud. En FAO (2000). Efectos de los fenómenos climatológicos adversos en la producción y el comercio de los alimentos. 26a Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Mérida, México, 10 - 14 de abril del 2000.

20 Citado en FAO (2005).

21 *Ibidem*

Características
<ul style="list-style-type: none"> • Tres estratos de cobertura <ul style="list-style-type: none"> — Manejo de rastrojo y biomasa. — Cultivos. — Árboles maderables, frutales y arbustos • Siembra de frijol (100-120 libras por manzana) y maicillo (25-35 libras por manzana) al voleo y maíz al bordón (labranza cero) • Árboles dispersos, seleccionados con regeneración natural a los que se les aplica diferentes podas
Requerimientos
<ul style="list-style-type: none"> • <i>No quema</i> • <i>Labranza cero</i> • <i>Siembra directa (siembra al bordón y al voleo)</i> • <i>Siembra en curvas de nivel</i> • <i>Manejo Integrado de Plagas (MIP)</i> • <i>Creación de barreras vivas</i> • <i>Plantación de árboles de uso múltiple (frutales, medicinales, maderables, forrajeros, etc.)</i>

Tabla 5.2.- Características del Sistema Agroforestal Quesungual.

A estos resultados hay que añadir los beneficios socioeconómicos, en términos de rendimiento económico, capacidad de inversión (educación, vivienda, nuevos proyectos productivos, etc.) y seguridad alimentaria.

5.8 Transición de una agricultura convencional a una agricultura ecológica

En los apartados precedentes, hemos visto los beneficios asociados a prácticas alternativas de manejo agroecológico. Las motivaciones por las cuales los productores están dispuestos a asumir el reto de pasar de un sistema de manejo convencional a un sistema agroecológico son muchas y variadas (enfermedades padecidas por personas cercanas al ámbito del productor causadas por agrotóxicos –“veneno”-, aumento de la demanda de productos “saludables” por parte del consumidor, intervenciones públicas para reducir el impacto de agrotóxicos sobre el ambiente²², etc.). Al margen de estas, el productor tiene que ajustarse a las normas de producción orgánica para tener acceso al mercado

22 A partir de la década de los '80, Emater-PR implementó unos planes de manejo (Manejo Integrado de Suelos y Aguas) destinados a minimizar la erosión de los suelos causada por actividades agropecuarias y de MIP para racionalizar el uso de agrotóxicos. Esta iniciativa partió de algunos técnicos preocupados con la polución ambiental y con numerosos casos de intoxicación por agrotóxicos (Silva, J. B., 2006: *Conquistas, peligros e dilemas de uma proposta de implantação de agroecologia: o caso de Colombo* (PR). En: Lovato e Schmidt. Argos, Chapecó, Brasil.

ecológico. Para ello, es preciso seguir una serie de pasos, en lo que llamamos proceso de “conversión” (Khatounian, 2001).

Para iniciar el camino de conversión, es necesario conocer bien la situación inicial, o el estado en que nos encontramos en el punto de partida. Para ello, un enfoque sistémico nos permite levantar las informaciones necesarias para conocer cómo se estructura el sistema, su funcionamiento y las distintas percepciones y visiones de los actores sobre el mismo. En este sentido, el análisis sistémico es un instrumento clave, ya que estudia un espacio geográfico que se define no tanto por las fronteras sino por flujos de intercambio, superimposiciones, interferencias, tendencias y dinámicas existentes (FAO, 2005). Una vez bien caracterizado el estado actual o punto de partida, el siguiente paso será elaborar un plan para alcanzar la situación deseada, teniendo en cuenta las constricciones del propio sistema, tanto biofísicas como de capital, tenencia, mano de obra y conocimiento.

Para alcanzar el punto deseado, normalmente se requiere el establecimiento de una nueva rutina de manutención de la fertilidad y la reestructuración física y funcional del sistema y de los flujos de materia y energía, incluyendo el trabajo y el dinero. Para ello, las prácticas de fertilización, de control de plagas y enfermedades y de supresión de insumos tienen que estar bien asimiladas y establecidas (Khatounian, 2001). Ello requiere un (re)aprendizaje y entrenamiento del agricultor y/o técnico que acompaña el proceso, ya que exige la reorganización de los aspectos agrícolas en un marco conceptual diferente.

En la figura 5.8 se ilustran las cuatro fases productivas necesarias en el proceso de conversión orgánico.

La eliminación de insumos se da en tres etapas. En un primer momento, se reduce la intensidad de aplicación y/o la dosis, en la siguiente etapa se racionaliza su uso y, en la tercera etapa, se eliminan por completo los agroquímicos. Este paso se alcanza cuando se han restablecido las sinergias entre los distintos componentes del agroecosistema (suelo/organismos/cultivo). Como en todo proceso, existe una serie de puntos clave que es importante identificar si se quiere alcanzar el objetivo marcado. En este sentido, las claves del proceso no solo son biológicas, sino también socioeconómicas.

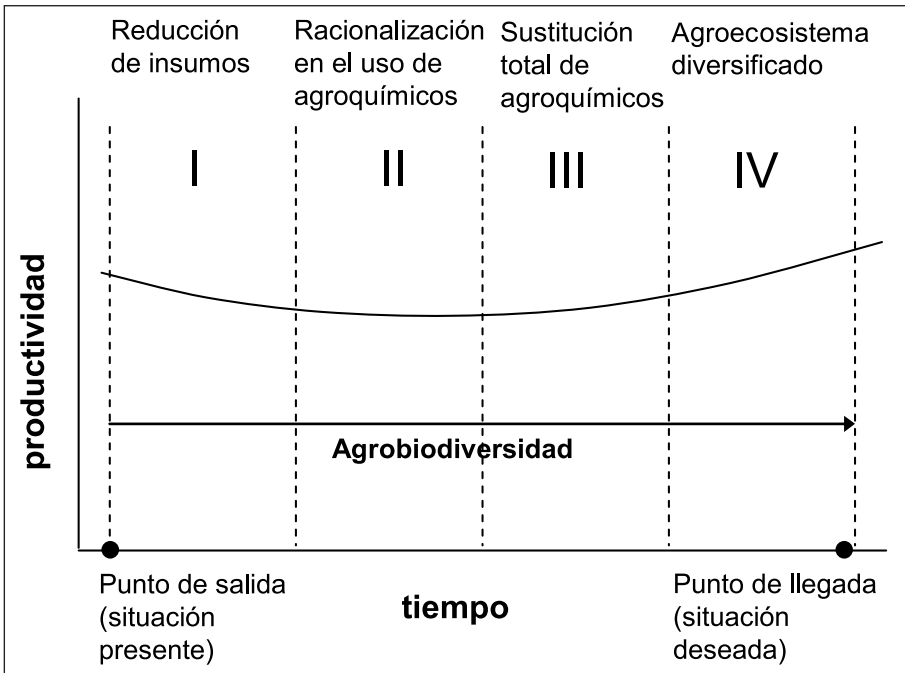


Figura 5.8.- Fases del proceso de conversión a orgánico. Fuente: adaptado de Altieri, 1999.

Un aspecto fundamental para el productor, en el proceso de conversión, es conocer las vías posibles de comercialización de sus productos. Estas suelen ser nuevos canales alternativos (mercados locales, venta directa a cooperativas de consumidores, etc.) que tienen que estar bien definidos anteriormente para asegurar la salida de la producción. Para garantizar la calidad y el origen de los productos orgánicos y evitar fraudes al consumidor, se creó la certificación orgánica²³. En la figura 5.9 se presenta un ejemplo (Santos, 2006) de otras alternativas para garantizar la calidad de productos a través del establecimiento y fortalecimiento de nuevos espacios de articulación y arreglos institucionales productor-consumidor.

²³ Las primeras normas y procedimientos de certificación de la producción orgánica fueron establecidas en la década de los '70 con la fundación de la Federación Internacional de los Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) que desarrolló el Sistema de Garantía Orgánica.

Sistemas Participativos de Garantía (SPG)

La Rede Ecovida de Agroecología, creada en Brasil en 1998, es un espacio de articulación entre agricultores familiares ecologistas y sus organizaciones, entidades de asesoría y otros actores relacionados en el proceso de producción, procesamiento, comercialización y consumo de productos ecológicos. La Rede Ecovida* reconoce la necesidad de acercar los productores a los consumidores con el fin de que ambos construyan un mercado en el cual la remuneración por la actividad y los productos agropecuarios sea justa. Los principios en los que se basa son: plantear el enfoque agroecológico como base para el desarrollo sostenible; orientarse por normativa propia de funcionamiento y producción; trabajar en la construcción de un mercado justo y solidario; y garantizar la calidad de los productos a través de la certificación participativa en red (CPR). La principal característica del CPR es que prescinde de la figura del inspector (certificador), mediante la creación de una serie de instrumentos que favorecen simultáneamente la verificación del cumplimiento de las normas y el perfeccionamiento del proceso productivo. La CPR quiere ser un proceso de generación de credibilidad en red, con el acercamiento del consumidor al productor a través de la venta directa o visitas a unidades productivas, realizado de forma descentralizada y respetando las características locales y la valorización del saber popular. En Brasil, la discusión sobre la obligatoriedad de la certificación ha llevado a reconocer que esta puede representar una barrera para los productores. A raíz de los trabajos desarrollados por Rede Ecovida, varios son los escenarios que se presentan en el futuro:

- que el CPR actual se constituya en un Sistema Participativo de Garantía. La credibilidad construida junto al consumidor podría encontrar tres situaciones: el reconocimiento de los SPG por reglamentación de ley, obteniendo de esta forma las mismas condiciones que la certificación; que fuera reconocida apenas como una “excepción de la ley”; o que quedara restringida a informalidad.
- la adecuación de la asociación Ecovida al ISO65, obteniendo la acreditación como organismo certificador.
- la creación de la marca Ecovida®, que estaría presente en todos los productos de los grupos y asociaciones afiliadas, independientemente de la opción de evaluación de conformidad o certificación que estas adopten.

* www.ecovida.or.br

Figura 5.9.- Una alternativa a la certificación: los Sistemas Participativos de Garantía (SPG) en Brasil. Fuente: Santos, 2006.

5.9 Metodología de análisis y evaluación de los agroecosistemas

5.9.1 Identificación y validación de indicadores de sostenibilidad

Para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema, es necesario desarrollar una serie de indicadores. De acuerdo con Reed *et al.*, (2006) los indicadores de sustentabilidad son el conjunto de características específicas del sistema que pueden medirse y que nos permiten describir la calidad social, económica y ambiental del mismo. Los mismos autores hacen una revisión crítica en su trabajo de la literatura existente sobre el tema para desarrollar y aplicar indicadores de sustentabilidad a escala local.

Pluralidad de actores: De acuerdo con Cornelissen *et al.* (2001), la sostenibilidad implica un desarrollo dinámico dirigido por las expectativas futuras humanas, el alcance de las cuales se basa en la información social, económica y ecológica. Se propone un enfoque que involucre a los actores en el proceso. Según Holling (1978) y Walters (1986) un manejo adaptativo, entendido este como una forma de manejo dinámico que va cambiando a medida que se va conociendo más la realidad agrosocioecológica y económica, está basado en un enfoque metodológico que estudia experimentalmente el conjunto de opciones políticas.

Escalas de evaluación: De acuerdo con Klaas *et al.* (2005), distinguimos diferentes escalas jerárquicas, desde el nivel de finca, comunidad, territorial, regional, al nacional y global. El nivel de finca representa el punto de partida más relevante, dado que los atributos sociales, económicos y ecológicos se reúnen a este nivel jerárquico (de Koeijer *et al.*, 1999).

A niveles jerárquicos bajos (campo, finca o comunidad), los principales objetivos de evaluación están en monitorear y estimar la viabilidad y el impacto de prácticas de manejo alternativas a las existentes, con la finalidad de identificar estrategias específicas que aumenten la sostenibilidad de los recursos naturales²⁴. A escalas superiores de análisis, tales como regional o suprarregional, las evaluaciones están orientadas normalmente a la estima del impacto de programas y políticas de desarrollo (López-Ridaaura *et al.*, 2005)

Atributos de sostenibilidad: en la mayoría de trabajos, la definición de los atributos generales (propiedades) de sostenibilidad del sistema en examen es el primer paso para la derivación de indicadores. Se trata de aquellos aspectos críticos donde la sostenibilidad del sistema puede verse afectada, en términos sociales, ecológicos y/o económicos. Los atributos de sostenibilidad pueden agruparse en dos categorías principales: (a) aquellos referidos al funcionamiento interno del sistema y que son independientes de los cambios producidos y de la interacción con el ambiente y con otros sistemas y (b) aquellos referidos al mantenimiento del funcionamiento del sistema una vez introducidos cambios en su funcionamiento interno o en sistemas con los que interacciona. Sin partir de una idea predefinida sobre cuales son los atributos clave que definen la sostenibilidad del sistema (específica al contexto), e interpretando la sostenibilidad como resultado de un proceso de aprendizaje mutuo (Pretty, 1995), los atributos de sostenibilidad se derivarán de la exploración de puntos críticos/objetivos expresados por la pluralidad de actores (incluyendo los científicos).

Un proceso adaptativo de co-construcción de indicadores: para la identificación de los indicadores se debe tener en cuenta que estos tienen que cumplir las siguientes condiciones:

24 Ver: Masera *et al.*, 1999; Andreoli and Tellarini, 2000, entre otros.

1. ser capaces de medir de manera objetiva y consistente la tendencia del sistema en examen hacia la sostenibilidad del mismo (**precisión**),
2. ser aplicables por parte de los usuarios locales (**simplicidad y manejabilidad**)
3. ser específicos según el contexto y al escala de trabajo (**contextualidad**) y,
4. responder a las preocupaciones/expectativas de los actores sobre el futuro (**relevancia**).

Para ello, se plantean los siguientes objetivos:

- explorar los puntos críticos/objetivos heterogéneos de los múltiples actores, que se traducen en un amplio abanico de percepciones sobre los posibles criterios de evaluación,
- identificar los atributos (en las tres dimensiones) de evaluación posibles de sostenibilidad de las opciones/actuaciones que se han ido formulando entre científicos y actores locales/instituciones locales para una gestión sostenible de los recursos y,
- buscar el diálogo (e integración) entre el conocimiento y las valoraciones científicas y el conocimiento de los productores para encontrar un equilibrio entre precisión y relevancia de los indicadores de evaluación.

5.9.2 La calidad del suelo como indicador de sustentabilidad del agroecosistema

La calidad del suelo puede servir como un indicador de sustentabilidad (Massera et al., 1999) (ver figura 5.10), ya que integra atributos que conciernen a la calidad ambiental (National Research Council, 1993), la seguridad alimentaria (Lal, 1999) y la viabilidad económica (Hillel, 1991). Sin embargo, y de acuerdo con Herrick (2000), para que las evaluaciones sean efectivas se tiene que integrar con otros indicadores biofísicos y socio-económicos.

En relación a las dimensiones técnicas, podríamos introducir una serie de indicadores cualitativos, que representen los principios tecnológicos que pueden considerarse en un sistema de agricultura sostenible y que caracterizan a un modelo agrícola alternativo, como manejo ecológico del suelo y cultivo, control biológico de plagas y enfermedades, uso de los arreglos espaciales (distancias y sistemas de siembra, asociación temporal y espacial de cultivos, entre otros), etc.

Los beneficios económicos se podrían estimar a partir, por ejemplo, de la producción total del cultivo o cultivos, en caso de que se tratara de un sistema diversificado, por unidad de tierra, flujo de materia y energía (insumos externos/ internos, energía endo y exosomática, etc.). En Benavidez (2000), se proponen los siguientes indicadores de beneficios socioeconómicos: la cantidad de superficie

recuperada, la capacidad de carga de las praderas recuperadas y la cantidad de beneficiarios. Además, indicadores de estabilidad y resiliencia podrían mostrar los niveles de sustentabilidad social, ya que un sistema más estable y resiliente dará más garantías a las poblaciones locales y, por tanto, reducirá el riesgo de inseguridad alimentaria.

La calidad del suelo como indicador de sustentabilidad

Entre los indicadores de la dimensión ambiental, se pueden considerar aquellos relacionados con los componentes principales del agro ecosistema, el suelo y el agua. Massera *et al* (1999), sugieren que cualquier marco metodológico para evaluar la sostenibilidad del manejo de un agroecosistema tendrá que incluir la definición del estado del suelo (capacidades y propiedades) y su evolución, a través de la evaluación de la calidad de los mismos. Para alcanzar los objetivos perseguidos, es decir, “llegar a diseñar agroecosistemas que sean productivos, resilientes, estables y sostenibles” se debería integrar la evaluación de los procesos agroecológicos, en un estudio interdisciplinario, con un enfoque de sistema. Delante de las preguntas: ¿qué indicadores pudiesen ser los más relevantes? o ¿cuáles deberían utilizarse?, Massera *et al* (1999) considera que los indicadores deben dar información tanto sobre los atributos de sustentabilidad como de los puntos críticos identificados en el sistema. Los indicadores de calidad de suelo deberían escogerse en primer lugar según la capacidad de estos para describir los procesos ecológicos de los agroecosistemas con particular referencia a los puntos críticos individualizados en los agroecosistemas en estudio (susceptibilidad a la erosión, plagas, enfermedades malezas, bajos rendimientos productivos, baja disponibilidad de N y P, etc.). También, se deberían escoger dependiendo del tiempo que se requiere para exhibir cambios como respuesta a un manejo determinado, de la accesibilidad a los diferentes usuarios y de la aplicabilidad en diversas condiciones de campo. Estamos de acuerdo que para que los indicadores seleccionados sean viables, tenemos que tener en cuenta los recursos humanos, técnicos, económicos etc. Dado que se propone establecer una metodología que pueda utilizarse en un amplio rango de contextos, será importante que estos indicadores requieran del mínimo esfuerzo posible, entendiendo el esfuerzo en términos de recursos. Según Astier-Calderón *et al* (2002), los puntos críticos para la definición de los indicadores de calidad del suelo son los factores o procesos ambientales (o técnicos) que pueden hacer peligrar la sustentabilidad del agroecosistema definida por los siguientes atributos: productividad, estabilidad y resiliencia. La productividad es la capacidad del agroecosistema para satisfacer las necesidades locales de bienes y servicios, la estabilidad se refiere a la propiedad del sistema de mantener su equilibrio dinámico con una constancia productiva (o beneficios dados), bajo un conjunto de condiciones ambientales, económicas y administrativas y, la resiliencia es la capacidad del suelo para resistir perturbaciones, recuperando su estado inicial de equilibrio dinámico. Estos autores presentan tres casos de estudio con una caracterización de diferentes sistemas de manejo agrícola en Méjico: (i) en Michoacan, un sistema de producción de maíz con rotación abono verde- maíz, (ii) en la Reserva de Chamela, un sistema silvopastoril mejorado en selva baja caducifolia, y (iii) en el Batán, un sistema de agricultura intensiva y comercial de maíz. En este estudio, los autores seleccionan los indicadores según el enfoque anteriormente planteado y hacen un seguimiento de la calidad del suelo de manera comparativa.

Figura 5.10 - La calidad del suelo como indicador de sustentabilidad, según varios autores.

Según Vilain (2000), la dimensión social de la sustentabilidad se evalúa por indicadores que propician un conjunto de objetivos (el desarrollo humano, la calidad de vida, la ética, el empleo y el desarrollo local, la ciudadanía, la coherencia, etc.) que se conjuntan en tres grandes componentes: la calidad de los productos y del territorio, los empleos y los servicios y la ética y el desarrollo humano.

De acuerdo con López-Ridaura et al. (2002), promover el manejo sostenible de los recursos naturales es una tarea compleja que requiere nuevos enfoques y estrategias. La integración de conocimientos entre científicos y actores locales es importante para definir estrategias de gestión de los recursos naturales. En este sentido, abrir el diálogo entre ambas formas cognitivas ofrece la posibilidad de desarrollar metodologías híbridas que recojan el conocimiento de ambos repertorios (Thomas and Twyman, 2004) y de esta forma conseguir un equilibrio adecuado entre precisión y relevancia en la evaluación (Cook et al., 1998).

5.10 Referencias

- Altieri M.A. (1999a). “Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable”. Nordan/Comunidad. Montevideo.
- Altieri M.A. (1999b). “The ecological role of biodiversity in agroecosystems”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19–31.
- Altieri M.A. (1995). “Agroecology: the science of sustainable agriculture”. 2nd Edition. Westview Press, Inc. London UK.
- Altieri M.A. (1995). “Una alternativa dentro del sistema”. *Revista Ceres* (FAO) 27 (4)
- Altieri M.A. y Nicholls C.I. (2000). “Teoría y práctica para una agricultura sustentable”. 1ª edición. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México D.F. México.
- Altieri M.A. and Nicholls C.I. (2002). “A rapid agroecological method for the evaluation of sustainability in coffee agroforestry systems”. *Rev. Manejo integrado de plagas y agroecología* 64: 17-24.
- Andreoli, M. and Tellarini, V. (2000). “Farm sustainability evaluation: Methodology and practice”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77, 43–52.
- Astier-Calderón M., Maass-Moreno M. and Etchevers-Barra, J. (2002). “Derivation of soil quality indicators in the context of sustainable agriculture”. *Agrociencia* 36:605-620.
- Begon M., Harper J. and Townsend C. (1995). “Ecología, individuos, poblaciones y comunidades”. Ed. Omega. Barcelona.
- Begon M., Townsend C. and Harper J.L. (2006). “Ecology from Individuals to Ecosystems”. 4th Ed. Blackwell Publishing Ltd. Oxford
- Benavidez G. (2000). “Gestión local de recursos naturales y agroecología: un proceso de innovación tecnológica y social de recuperación de la base productiva de recursos naturales en el municipio de Comanche (provincia Pacajes)”. (www.condesan.org/e-foros/paramos2/CafeGBcomentario.htm)
- II Conferencia Electrónica sobre Usos Sostenibles y Conservación del Ecosistema Páramo en los Andes: “Los Páramos como Fuente de Agua: Mitos, Realidades, Retos y Acciones” Mayo 15 al 30 de Junio del 2000.

- Bouma J. and Droogers P. (1998). "A procedure to derive land quality indicators for sustainable agricultural production". *Geoderma* 85: 103-110
- Brookfield H. and Stocking M. (1999). "Agrodiversity: definition, description and design". *Global Environmental Change* 9: 77-80
- Cannell R.Q. and Hawes J.D. (1994). "Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates". *Soil and Tillage Research* 30 (2-4): 245-282.
- Caporal F.R. y Morales Hernández, J. (2000). "La Agroecología desde Latinoamérica: avances y perspectivas". Centro de Investigación, Educación y Desarrollo. Perú. http://agroeco.org/brasil/material/La_Agroecologia_LA.pdf
- Chambers R. (1994). "Participatory rural appraisal (PRA): Challenges, potentials and paradigm". *World Development* 22(10):1437-1454
- Claveran R. Fregoso L.E. y Sánchez, C. (2001). "La labranza de conservación en México". I World Meeting in Conservation Agriculture. Madrid, 1-5 octubre
- Clayton A., Oakley P. and Pratt, B. (1997). "Empowering People: A Guidebook to Participation". INTRAC, Oxford.
- Conway G.R. (1985). "Agroecosystem Analysis". *Agricultural Administration* 20:31-55.
- Conway G.R. and Barbier E. B. (1990). "After the green revolution: sustainable agriculture for development". London: Earthscan.
- Conway G.R. (1993). "Análise participativa para o desenvolvimento agrícola sustentável". *Agricultores na pesquisa*, 4. AS-PTA. Rio de Janeiro, Brasil.
- Cook S.E., Adams M.L. and Corner R.J. (1998). "On-farm experiments to determine site-specific response to variable inputs". In: Robert, P.C. (Ed.), *Fourth International Conference on Precision Agriculture*. ASA.
- Cornelissen A.M.G., Van den Berg J., Koops W.J., Grossman M. and Udo H.M.J. (2001). "Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: A novel approach using fuzzy set theory" *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86: 172-185.
- de Koeijer T.J., Wossink G.A.A., van Ittersum M.K., Struik P.C. and Renkema J.A. (1999). "A conceptual model for analyzing input-output coefficients in arable farming systems: From diagnosis towards design" *Agricultural Systems* 61: 33-44.
- DeBach P. (ed) (1964). "Biological Control of Insect Pests and Weeds". London: Chapman & Hall. London
- Dollfus O. (1991). "Territorios andinos: reto y memorias". IFEA y IEP. Lima.
- Doran J.W. and Parkin B.T. (1994). "Defining and assessing soil quality" In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdick D.C. and Stewart B.A. (Eds). *Defining and Assessing soil quality for sustainable Environment*. SSSA. Special publication 35. Madison, Wisconsin, USA. Pp:3-21.
- FAO (2005). "An approach to rural development. Participatory and Negotiated Territorial Development (PNTD)". FAO: SD-Dimensions: http://www.fao.org/sd/dim_pe2/pe2_050402a1_en.htm
- FAO (2005). "El Sistema Agroforestal Quesungual. Una opción para el manejo de suelos en zonas secas de ladera. Sistema de Extensión Lempira (SEL)". Responsables: Iliana Fernández y Edgardo Navarro. Honduras.
- FAO (2001). "Conservation Agriculture, Matching Production with Sustainability". <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/ch10/ch104.pdf>

- Farrell, J.G. (1984). The role of trees within mixed farming systems of Tlaxcala, México. En Altieri (1999a).
- Farrell J.G and Altieri M.A. (1995). "Sistemas agroforestales". In: Altieri, M. ed (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan/Comunidad. Montevideo.
- Flint, M.L. and van den Bosch, R. (1981). *Introduction to Integrated Pest Management*. Plenum Press, New York.
- Gliessman R. (1990). "Agroecology. Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture". Springer-Verlag. London.
- Gliessman S. (2002). "Agroecología: procesos ecológicos en Agricultura sostenible". Turrialba. CATIE. Costa Rica.
- Haynes R.J. (1980). "Influence of soil management practice on the orchard agroecosystem". *Agroecosystems* 6: 3-32.
- Hecht S.B. (1999). "La evolución del pensamiento agroecológico". In: Altieri, M. (ed.) *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan/Comunidad. Montevideo.
- Herrick J.E. (2000). "Soil quality: an indicator of sustainable land management?". *Applied Soil Ecology* 15: 75-83.
- Hillel D. (1991). "Out of Earth: Civilization and the Life of the Soil". University of California Press, Berkeley.
- Hoyt E. (1988). "Conserving the Wild Relatives of Crops". IPGRI/IUCN/WWF, Rome, Italy.
http://www.fagro.edu.uy/cursos/cerdosacampo/Tema_2._Sustentabilidad_rural_desacuerdos_y_controversias.pdf
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) (2005). <http://www.biodiversityinternational.org>
- Jacas Miret J.A. y Gómez Cadenas A. (2001). "Situación actual del Manejo Integrado de Plagas en cítricos". *Vida rural* 131.
- Janssens M.J, Neumann I.F. and Froidevaux L. (1990). "Low-input ideotypes". In Gliessman R. (ed) *Agroecology. Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Springer-Verlag. London.
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. Mc Graw-Hill, 281 pp. New York.
- Khatounian C.A. (2001). "A reconstrução ecológica da agricultura". Botucatu: Agroecológica. Paraná.
- Lal R. (1997). "Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment". *Soil and Tillage Research*. 43 (1-2) :1-107
- Lal R. (1998). "Soil Quality and Agricultural Sustainability". Lal, R. ed. Ann Arbor Press, Chelsea, MI, USA. 378 p.
- Lal R. (1999). "Soil Quality and food security: the global perspective". In Lal, R. (ed.) *Soil Quality and Soil Erosion*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lal R., Regnier E., Exkert D.J., Edwards W.M. and Hammond R. (1991). "Expectations of cover crops for sustainable agriculture". In: W. L. Hargrove (ed.). *Cover Crops for Clean Water*. Soil and Water Conservation Soc. Iowa.

- Leff, E. 2001. Agroecología y saber ambiental. II Seminario Internacional Sobre Agroecología, III Seminario Estadual Sobre Agroecología, III Encuentro Nacional Sobre Investigación En Agroecología. Porto Alegre, 26-28 de noviembre de 2001.
- Liedgens M., Frossard E. and Richner W. (2004). "Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system: (2) Nitrogen and water dynamics". *Plant and Soil* 259: 243–258.
- López-Ridaura S., Masera O. and Astier M. (2002). "Evaluating the sustainability of complex socioenvironmental systems. The MESMIS framework", *Ecological Indicators* 2, 135–148.
- López-Ridaura S., Van Keulen H., Van Ittersum M.K. and Leffelaar P.A. (2005). "Multiscale methodological framework to derive criteria and indicators for sustainability evaluation of peasant natural resource management systems". *Environment, Development and Sustainability*. 7: 51–69.
- Lovato P.E. e Schmidt W. (2006). "Agroecologia e sustentabilidade no meio rural: experiências e reflexões de agentes de desenvolvimento local". ARGOS. Chapecó, Brasil.
- Magdoff F. (1987). "Soil Quality and Management". In Altieri (1995): *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. 2nd Edition. Westview Press, Inc. London UK.
- Martínez-Alier J. (1993). "Ecología y economía política de la Agrobiodiversidad campesina". En: *Biotecnología, recursos filogenéticos y agricultura en los Andes*. Serie de debate y reflexión. 4: 121-146. Lima. Perú.
- Masciandaro G. and Ceccanti B. (1999). "Assessing soil quality in different agroecosystems through biochemical and chemico-structural properties of humic substances". *Soil & Tillage Research*. 51: 129-137.
- Masera O., Astier M. y López-Ridaura S. (1999). "Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de Evaluación MESMIS". MundiPrensa-GIRA-UNAM, México, p. 109.
- Mazoyer M. et Roudard L. (1998). "Histoire des agricultures du monde". Seuil. Paris.
- Méndez V.E. y Gliessman S.R. (2002). "Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano". *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 64: 5-16.
- Mian I.H. and Rodríguez-Kábana R. (1982). "Organic amendments with high tannin and phenolic contents for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil". *Nematropica* 12: 221-234.
- Milz J. (1997). "Guía para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales" (DED - Bolivia).
- Money P.R. (2002). "El siglo ETC. Erosión, Transformación tecnológica y Concentración corporativa en el siglo XXI". Nordan/Comunidad, Montevideo. http://www.etcgroup.org/upload/publication/529/01/etc_libro1.pdf
- Morlon P. (ed). (1996). "Comprender la agricultura campesina en los Andes Centrales, Perú-Bolivia". IFEA, CBC. Lima.
- Naredo J.M. (2001). "El impacto de la agricultura sobre el MA". En: *Agricultura y Medioambiente*. Actas III. Foro sobre Desarrollo y Medioambiente. Fundación Monte León, León.

- National Research Council (1993). *Soil and Water quality: An Agenda for agriculture*. National Academy Press, Washington, DC, 516 pp. In Herrick (2000).
- Nicholls C, Altieri M. (2002). “Bases agroecológicas para el manejo de la biodiversidad en agroecosistemas: efectos sobre plagas y enfermedades”. Division of Biological Control, University of California, Berkeley, California USA.
- Noorgard B. and Sikor T.O. (1999). “Metodología y Práctica de la Agroecología”. En: Altieri (ed.) *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan/Comunidad. Montevideo.
- Odum E.P. (1996). “Fundamentals of Ecology”. Third Edition. Natraj Publishers. Dehra Dun, New Delhi.
- Oldeman L.R. (1994). “The Global Extent of Soil degradation”. In: Greenland, D.J. and Szabolcs (Eds.). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Wallingford. UK.
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R. and Blair R. (1995). “Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits”. *Science*. 267: 1117-1123.
- Power A. and Kareiva, P. (1990). “Herbivorous Insects in Agroecosystems”. In: Carrol R., Vandermeer J. and P. Rosset (eds.). *Agroecology*. MacGraw-Hill. New York.
- Pretty J.N. (1995). “Regenerating agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance”. London Earthscan Publications, and Washington, DC, National Academy Press.
- Rabb R.L., Stinner R.E. and van den Bosch R. (1976). “Conservation and augmentation of natural enemies”. In: Huffaker and P. S. Messenger (eds.). *Theory and Practice of Biological Control*. C. B. Academic Press. Nueva York.
- Reed M.S., Fraser E.D.G. and Dougill A.J. (2006). “An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities”. *Ecological Economics*. 59: 406-418.
- Reeves D.W. (1997). “The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems”. *Soil & Tillage Research*. 43: 131-167.
- Riechmann J. (2003). “Cuidar la T(tierra): políticas agrarias y alimentarias para entrar en el siglo XXI”. Icaria Política. Barcelona.
- Rist S. (1992). “Ecología, economía y tecnología campesina.” *Ruralter* 10: 205-227.
- Robinson R.A. (1999). “La Aceptación de la Resistencia Horizontal en los Cultivos.” *Monitor de Biotecnología y Desarrollo*, Compendio 1995-1997, p. 54-56.
- Santos, L.C. (2006). *A certificação participativa de produtos ecológicos desenvolvida pela Rede Ecovida de Agroecologia no Sul do Brasil: limites e desafios*. En Lovato and Schmidt (op. Cit.).
- Shiva V. (2001). “Biopiratería: el saqueo de la naturaleza y del conocimiento”. Icaria, Col. Antrazyt (Ecología). Barcelona.
- Tan K.H. (1994). “Environmental Soil Science”. Marcel Dekker, Inc. NY.
- Thomas D.S.G. and Twyman, C. (2004). “God or bad rangeland? Hybrid knowledge, science, and local understandings of vegetation dynamics in the Kalahari”. *Land Degradation & Development* 15: 215-231.
- Toledo V.M., Carabias J., Mapes C. and Toledo C. (1985). “Ecología y Autosuficiencia Alimentaria”. México City: Siglo Veintiuno.

- Tommasino H. (2001). "Sustentabilidad rural: desacuerdos y controversias". En: Pierri y Foladori (eds.) *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. Trabajo y Capital, Montevideo.
- Torres-Guevara, J. (2005) "*El Perú: Un país de montaña tropical*". Simposio: Organización y Gestión de Recursos en Ecosistemas de Montaña. Conferencia Sobre Andes. UNALM.
- Van Calker K.J. Berentsen P.B.M., Giesen G.W.J. and Huirne R.B.M. (2005) "Identifying and ranking attributes that determine sustainability in Dutch dairy farming". *Agriculture and Human Values*. 22: 53–63.
- Vandermeer J. and Perfecto I. (1995). "Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction". Food First Books. Oakland.
- Velásquez M., Tiscareño M., Claverán R. y Gallardo M. (1997). "Erosión y productividad bajo labranza de conservación I". Avances de investigación en suelos de Michoacán. INIFAP-CENAPROS. Folleto Técnico N° 1.. En: Claveran et al (2001).
- Vilain, L., 2000. "La Méthode Idea, Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles, guide d'utilisation" Educagri Editions, France. En Tommasino (2001).