

# Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables

Miguel A Altieri

El concepto de agricultura sustentable es una respuesta relativamente reciente a la declinación en la calidad de la base de los recursos naturales asociada con la agricultura moderna. En la actualidad, la cuestión de la producción agrícola ha evolucionado desde una forma puramente técnica hacia una más compleja, caracterizada por dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas. El concepto de sustentabilidad, aunque controvertible y difuso debido a la existencia de definiciones e interpretaciones conflictivas de su significado, es útil debido a que captura un conjunto de preocupaciones acerca de la agricultura, la que es concebida como el resultado de la coevolución de los sistemas socioeconómicos y naturales (Reijntjes *et al.*, 1992). Un entendimiento más amplio del contexto agrícola requiere el estudio de la agricultura, el ambiente global y el sistema social, teniendo en cuenta que el desarrollo social resulta de una compleja interacción de una multitud de factores. Es a través de esta más profunda comprensión de la ecología de los sistemas agrícolas, que se abrirán las puertas a nuevas opciones de manejo que estén más en sintonía con los objetivos de una agricultura verdaderamente sustentable.

El concepto de sustentabilidad ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de proponer ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla ambientalmente, socialmente y económicamente más viable y compatible. Se han propuesto algunas posibles soluciones a los problemas ambientales creados por los sistemas agrícolas intensivos en capital y tecnología basándose en investigaciones que tienen como fin evaluar sistemas alternativos (Gliessman, 1998). El principal foco está puesto en la reducción o eliminación de agroquímicos a través de cambios en el manejo, que aseguren la adecuada nutrición y protección de las plantas a través de fuentes de nutrientes orgánicos y un manejo integrado de plagas, respectivamente.

A pesar que han tenido lugar cientos de proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanas, y muchas lecciones se han aprendido, la tendencia es aún altamente tecnológica, enfatizando la supresión de los factores limitantes o de los síntomas que enmascaran un sistema productivo enfermo. La filosofía prevaleciente es que las plagas, las deficiencias de nutrientes u otros factores son la causa de la baja productividad, en una visión opuesta a la que considera que las plagas o los

nutrientes sólo se transforman en una limitante, si el agroecosistema no está en equilibrio (Carrol *et al.*, 1990). Por esta razón, todavía persiste y prevalece la visión estrecha que la productividad es afectada por causas específicas y por lo tanto, que la solución de estos factores limitantes, mediante nuevas tecnologías, continúa siendo el principal objetivo. Esta visión ha impedido a los agrónomos darse cuenta que los factores limitantes sólo representan los síntomas de una enfermedad más sistémica inherente a desbalances dentro del agroecosistema y han provocado una apreciación del contexto y la complejidad del agroecosistema que subestima las principales causas de las limitaciones agrícolas

Por otro lado, la ciencia de la agroecología, que es definida como la aplicación de los conceptos y principios ecológicos para diseñar agroecosistemas sustentables, provee una base para evaluar la complejidad de los agroecosistemas. La idea de la agroecología es ir más allá del uso de prácticas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una dependencia mínima de agroquímicos y subsidios de energía enfatizando sistemas agrícolas complejos en los cuales las interacciones ecológicas y los sinergismos entre sus componentes biológicos proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos.

## 1. Principios de Agroecología

En la búsqueda por reinstalar una racionalidad más ecológica en la producción agrícola, los científicos y promotores han ignorado un aspecto esencial o central en el desarrollo de una agricultura más autosuficiente y sustentable: un entendimiento más profundo de la naturaleza de los agroecosistemas y de los principios por los cuales estos funcionan. Dada esta limitación, la agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables.

La agroecología va más allá de un punto de vista unidimensional de los agroecosistemas (su genética, edafología y otros) para abrazar un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función. En lugar de centrar su atención en algún componente particular del agroecosistema, la agroecología enfatiza las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos (Vandermeer, 1995).

Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano. La agroecología es el estudio holístico de los agroecosistemas, incluidos todos los elementos ambientales y humanos. Centra su atención sobre la forma, la dinámica y función de sus interrelaciones y los procesos en el cual están envueltas. Un área usada para producción agrícola, por

ejemplo un campo, es visto como un sistema complejo en el cual los procesos ecológicos que se encuentran en forma natural pueden ocurrir, por ejemplo: ciclaje de nutrientes, interacciones predador-presa, competencia, simbiosis y cambios sucesionales. Una idea implícita en las investigaciones agroecológicas es que, entendiendo estas relaciones y procesos ecológicos, los agroecosistemas pueden ser manejados para mejorar la producción de forma más sustentable, con menores impactos negativos ambientales y sociales y un menor uso de insumos externos.

El diseño de tales sistemas está basado en la aplicación de los siguientes principios ecológicos (Reinjtjes *et al.*, 1992):

- Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes.
- Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo.
- Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura.
- Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio.
- Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Estos principios pueden ser aplicados a través de varias técnicas y estrategias. Cada una de ellas tiene diferente efecto sobre la productividad, estabilidad y resiliencia dentro del sistema de finca, dependiendo de las oportunidades locales, la disponibilidad de recursos y, en muchos casos, del mercado. El objetivo último del diseño agroecológico es integrar los componentes de manera tal de aumentar la eficiencia biológica general, y mantener la capacidad productiva y autosuficiente del agroecosistema (Tabla 1). El objetivo es diseñar una trama de agroecosistemas dentro de una unidad de paisaje, miméticos con la estructura y función de los ecosistemas naturales.

**Tabla 1**

Procesos ecológicos que deben optimizarse en agroecosistemas

- Fortalecer la inmunidad del sistema (funcionamiento apropiado del sistema natural de control de plagas)
- Disminuir la toxicidad a través de la eliminación de agroquímicos
- Optimizar la función metabólica (descomposición de la materia orgánica y ciclaje de nutrientes)
- Balance de los sistemas regulatorios (ciclos de nutrientes, balance de agua, flujo y energía, regulación de poblaciones, etc...)
- Aumentar la conservación y regeneración de los recursos de suelo y agua y la biodiversidad
- Aumentar y sostener la productividad en el largo plazo

## 2. Biodiversificación de agroecosistemas

Desde una perspectiva de manejo, el objetivo de la agroecología es proveer ambientes balanceados, rendimientos sustentables, una fertilidad del suelo biológicamente obtenida y una regulación natural de las plagas a través del diseño de agroecosistemas diversificados y el uso de tecnologías de bajos insumos (Gliessman, 1998). Los agroecólogos están ahora reconociendo que los policultivos, la agroforestería y otros métodos de diversificación imitan los procesos ecológicos naturales y que la sustentabilidad de los agroecosistemas complejos se basa en los modelos ecológicos que ellos siguen. Mediante el diseño de sistemas de cultivo que imiten la naturaleza puede hacerse un uso óptimo de la luz solar, de los nutrientes del suelo y de la lluvia (Pret, 1994).

El manejo agroecológico debe tratar de optimizar el reciclado de nutrientes y de materia orgánica, cerrar los flujos de energía, conservar el agua y el suelo y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales. La estrategia explota las complementariedades y sinergismos que resultan de varias combinaciones de cultivos, árboles y animales, en arreglos espaciales y temporales diversos (Altieri, 1994).

En esencia, el manejo óptimo de los agroecosistemas depende del nivel de interacciones entre los varios componentes bióticos y abióticos. A través del ensamble de una biodiversidad funcional es posible iniciar sinergismos que subsidien los procesos del agroecosistema a través de proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclado de nutrientes, el aumento de los artrópodos benéficos y los antagonistas y otros más (Altieri & Nicholls, 1999). Actualmente, hay una gama diversa de prácticas y tecnologías disponibles las cuales varían, tanto en efectividad, como en valor estratégico. Las prácticas clave son aquellas de naturaleza preventiva, de multipropósito y que actúan reforzando la inmunidad del agroecosistema a través de una serie de mecanismos (Tabla 2)

**Tabla 2**

Mecanismos para mejorar la inmunidad del agroecosistema

- Aumentar las especies de plantas y la diversidad genética en el tiempo y el espacio
- Mejorar la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, etc..)
- Mejoramiento de la materia orgánica del suelo y la actividad biológica
- Aumento de la cobertura del suelo y la habilidad competitiva.
- Eliminación de insumos tóxicos y residuos

Existen varias estrategias para restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y el espacio incluyendo rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura, policultivos, mezclas de cultivo y ganadería y otras estrategias similares, las que exhiben las siguientes características ecológicas:

**Rotaciones de cultivo.** Diversidad temporal incorporada en los sistemas de cultivo proveyendo nutrientes para el cultivo e interrumpiendo el ciclo de vida de varios insectos plaga, de enfermedades y el ciclo de vida de las malezas (Sumner, 1982).

**Policultivos.** Sistemas de cultivo complejos en los cuales 2 o más especies son plantadas con una suficiente proximidad espacial que resulta en una competencia o complementación, aumentando, por lo tanto, los rendimientos (Vandermeer, 1989).

**Sistemas agroforestales.** Un sistema agrícola donde los árboles proveen funciones protectoras y productivas cuando crecen junto con cultivos anuales y/o animales lo que resulta en un aumento de las relaciones complementarias entre los componentes incrementando el uso múltiple del agroecosistema (Nair, 1982).

**Cultivos de cobertura.** El uso, en forma pura o en mezcla, de plantas leguminosas u otras especies anuales, generalmente debajo de especies frutales perennes, con el fin de mejorar la fertilidad del suelo, aumentar el control biológico de plagas y modificar el microclima del huerto (Finch & Sharp, 1976).

**Integración animal** en el agroecosistema ayudando en alcanzar una alta producción de biomasa y un reciclaje óptimo (Pearson & Ison, 1987).

Todas las formas diversificadas de agroecosistemas detalladas más arriba comparten las siguientes características

- a. Mantienen la cubierta vegetativa como una medida efectiva de conservar al agua y el suelo, a través del uso de prácticas como labranza cero, cultivos con uso de "mulch" y el uso de cultivos de cobertura y otros métodos apropiados.
- b. Proveen un suministro regular de materia orgánica a través de la adición de materia orgánica (estiércol, "compost" y promoción de la actividad y biología del suelo).
- c. Aumentan los mecanismos de reciclaje de nutrientes a través del uso de sistemas de rotaciones basados en leguminosas, integración de ganado, etc.
- d. Promueven la regulación de las plagas a través de un aumento de la actividad biológica de los agentes de control logrado por la introducción y/o la conservación de los enemigos naturales y antagonistas.

La investigación sobre la diversificación de sistemas de cultivos pone de relieve la gran importancia de la diversidad en un entorno agrícola (Vandermeer, 1989). La diversidad es de valor en los agroecosistemas por varias razones (Altieri, 1994; Gliessman, 1998):

- A medida que aumenta la diversidad, también lo hacen las oportunidades para la coexistencia e interacción benéfica entre las especies, que pueden mejorar la sustentabilidad del agroecosistema.
- Una mayor diversidad siempre permite un mejor uso de los recursos en el agroecosistema. Existe una mejor adaptación a la heterogeneidad del hábitat, llevando a una complementariedad en las necesidades de las especies de cultivo, la diversificación de nichos,

el solapamiento de los nichos de las especies y la partición de los recursos.

- Los ecosistemas en los cuales las especies de plantas están entremezcladas, poseen una resistencia asociada a herbívoros, ya que en los sistemas diversos existe una mayor abundancia y diversidad de enemigos naturales de las plagas, manteniendo bajo control las poblaciones de especies individuales de herbívoros.
- Un ensamblaje de cultivos diversos puede crear una diversidad de microclimas dentro de los sistemas de cultivo que pueden ser ocupados por un rango de organismos silvestres -incluyendo predadores benéficos, parasitoides, polinizadores, fauna del suelo y antagonistas- que resultan importantes para la totalidad del sistema.
- La diversidad en el paisaje agrícola puede contribuir a la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas naturales circundantes.
- La diversidad en el suelo determina una variedad de servicios ecológicos tales como el reciclado de nutrientes y la detoxificación de sustancias químicas perjudiciales y la regulación del crecimiento de las plantas.
- La diversidad reduce el riesgo para los productores o agricultores, especialmente en áreas marginales con condiciones ambientales poco predecibles. Si un cultivo no anda bien, el ingreso derivado de otros puede compensarlo.

### **3. Agroecología y el diseño de Agroecosistemas sustentables**

Mucha gente involucrada en la promoción de la agricultura sustentable busca crear una forma de agricultura que mantenga la productividad en el largo plazo a través de (Pret, 1994; Vandermeer, 1995):

- Optimizar el uso de insumos localmente disponibles combinando los diferentes componentes del sistema de finca, por ejemplo, plantas, animales, suelo, agua, clima y gente de manera tal que se complementen los unos a los otros y tengan los mayores efectos sinérgicos posibles.
- Reducir el uso de insumos externos a la finca y los no renovables con gran potencial de daño al ambiente y a la salud de productores y consumidores, y un uso más restringido y localizado de los insumos remanentes, con la visión de minimizar los costos variables;
- Basarse principalmente en los recursos del agroecosistema reemplazando los insumos externos por reciclaje de nutrientes, una mejor conservación y un uso eficiente de insumos locales.
- Mejorar la relación entre los diseños de cultivo, el potencial productivo y las limitantes ambientales de clima y el paisaje, para asegurar la sustentabilidad en el largo plazo de los niveles actuales de producción.
- Trabajar para valorar y conservar la biodiversidad, tanto en regiones silvestres como domesticadas, haciendo un uso óptimo del potencial biológico y genético de las especies

de plantas y animales presentes dentro y alrededor del agroecosistema.

- Aprovechar el conocimiento y las prácticas locales, incluidas las aproximaciones innovativas no siempre plenamente comprendidas todavía por los científicos, aunque ampliamente adoptadas por los agricultores

La agroecología provee el conocimiento y la metodología necesaria para desarrollar una agricultura que sea, por un lado, ambientalmente adecuada y, por el otro lado, altamente productiva, socialmente equitativa y económicamente viable. A través de la aplicación de los principios agroecológicos, el desafío básico de la agricultura sustentable de hacer un mejor uso de los recursos internos puede ser fácilmente alcanzado, minimizando el uso de insumos externos y preferentemente generando los recursos internos más eficientemente, a través de las estrategias de diversificación que aumenten los sinergismos entre los componentes clave del agroecosistema.

El objetivo último del diseño agroecológico es integrar los componentes de manera tal de aumentar la eficiencia biológica general, preservar la biodiversidad y mantener la capacidad productiva y autorregulatoria del agroecosistema. El objetivo es diseñar un agroecosistema que imite la estructura y función de los ecosistemas naturales locales; esto es, un sistema con una alta diversidad de especies y un suelo biológicamente activo; un sistema que promueva el control natural de plagas, el reciclaje de nutrientes y una alta cobertura del suelo que prevenga las pérdidas de recursos edáficos.

## 4. Conclusiones

La Agroecología provee una guía para desarrollar agroecosistemas que tomen ventaja de los efectos de la integración de la biodiversidad de plantas y animales. Tal integración aumenta las complejas interacciones y sinergismos y optimiza las funciones y procesos del agroecosistema tales como la regulación biótica de organismos perjudiciales, reciclado de nutrientes y la producción y acumulación de biomasa, permitiendo así al agroecosistema solventar su propio funcionamiento. El resultado final del diseño agroecológico es mejorar la sustentabilidad económica y ecológica del agroecosistema, con un sistema de manejo propuesto a tono con la base local de recursos y con una estructura operacional acorde con las condiciones ambientales y socioeconómicas existentes. En una estrategia agroecológica los componentes de manejo son dirigidos con el objetivo de resaltar la conservación y mejoramiento de los recursos locales (germoplasma, suelo, fauna benéfica, diversidad vegetal, etc...) enfatizando el desarrollo de una metodología que valore la participación de los agricultores, el uso del conocimiento tradicional y la adaptación de las explotaciones agrícolas a las necesidades locales y las condiciones socioeconómicas y biofísicas.

**Bibliografía citada**

---

- Altieri MA & CI Nicholls** (1999) Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems. In: Biodiversity in Agroecosystems. Collins WW & CO Qualset (Eds.) CRC Press, Boca Raton.
- Altieri MA** (1994) Biodiversity and pest management in agroecosystems. Hayworth Press, New York. 185 pp.
- Carrol CR, JH Vandermeer & PM Rosset** (1990) Agroecology. McGraw Hill Publishing Company, New York.
- Finch CV & CW Sharp** (1976) Cover crops in California orchards and vineyards. USDA Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Gliessman SR** (1998) Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Michigan.
- Nair PKR** (1982) Soil productivity aspects of agroforestry. ICRAF, Nairobi.
- Pearson CJ & RL Ison** (1987) Agronomy of grassland systems. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pret JN** (1994) Regenerating agriculture. Earthscan Publications Ltd., London. 320 pp.
- Reijntjes CB, Haverkort & A Waters-Bayer** (1992) Farming for the future. MacMillan Press Ltd., London.
- Sumner DR** (1982) Crop rotation and plant productivity. In: Handbook of Agricultural Productivity. M. Recheigl, (Ed) CRC, Vol I, CRC Press, Florida.
- Vandermeer J** (1989) The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge.
- Vandermeer J** (1995) The ecological basis of alternative agriculture. Annual Review of Ecological Systems, 26: 201-224.