



Sembrando en Tierra Viva

Manual de Agroecología

Sembrando en Tierra Viva

Manual de Agroecología

Apoyo a los pequeños productores y productoras de las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) y de las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) para la mejora de la seguridad alimentaria en los municipios costeros de Manzanillo y Amancio.

Este proyecto es financiado por la Unión Europea y la Agencia Española de Cooperación al Desarrollo (AECID).

Programa Temático de Seguridad Alimentaria en Cuba DCI/FOOD/2010/242-591.

La posición que se expresa en esta publicación no refleja necesariamente la posición de la Comisión Europea.

Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología.
185 p. La Habana. Mayo, 2015.

Coordinación editorial: Iñaki Liceaga
Edición, diseño y composición: Eduardo Martínez Oliva
Corrección científica: Fernando Funes Aguilar
Dibujo cubierta: Aracelis Guevara Castañeda
Concurso Proyecto Tierra Viva.
Revista Papalote. Granma

Primera edición, 2015

Tirada: 1 000 ejemplares

INTRODUCCIÓN

Dice un proverbio asiático que *“matar al ladrón no cierra la puerta”*. Con esta sabia reflexión nos avisan de que no basta con tomar un medicamento que mate al microbio que nos enferma sino que hay que dar solución al desequilibrio o debilidad del cuerpo que permitieron el desarrollo de la infección.

De la misma manera, mientras que la agricultura convencional no para de crear productos químicos para luchar contra cada una de las plagas de los cultivos, la agroecología estudia las causas de estas plagas para poder cerrarles la puerta.

Hay dos principios fundamentales para lograr la salud de nuestras fincas y nuestros cultivos:

- En los ecosistemas diversificados no hay lugar para las plagas; ya que los competidores y depredadores no permiten que se desarrollen.
- Los organismos débiles se enferman con facilidad mientras que los sanos y fuertes son muy difíciles de infectar. En palabras de Chabouseau: *“en suelo sano crecen plantas sanas y la plaga muere de hambre”*.

A lo largo de este libro descubriremos cómo lograr estos objetivos. La importancia de mantener la biodiversidad de seres vivos del suelo y la diversidad de nuestra finca.

El libro hace un énfasis especial en la importancia de cuidar y recuperar la calidad de los suelos, con todos esos seres vivos que permiten un buen reciclado de los nutrientes, el control de los patógenos y una textura adecuada del suelo para el desarrollo de nuestros cultivos.

Proyecto “Tierra Viva”

INDICE

1	Bases científicas de la Agroecología	7
	<i>Fernando Funes. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba</i>	
2	El suelo como producto de la cooperación entre lo físico y lo orgánico	29
	<i>Juana Labrador. Universidad de Extremadura, España</i>	
3	El suelo agrícola. Una perspectiva desde la patología vegetal	43
	<i>Javier Tello. Universidad de Almería, España</i>	
4	Los microorganismos, bioindicadores de la fertilidad del suelo	51
	<i>María del Carmen Jaizme. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), España</i>	
5	La fertilización de los cultivos bajo una perspectiva agroecológica	67
	<i>Francisco Martínez. Instituto de Suelo (IS), Ministerio de la Agricultura, Cuba</i>	
6	El suelo como componente esencial en la salud de las plantas. Su función como “filtro biológico”	87
	<i>José Luis Porcuna. Sanidad Vegetal Tenerife, España</i>	
7	Plagas y enfermedades del suelo	105
	<i>Nilda Pérez. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), Cuba</i>	
8	Alternativas para reducir la degradación de los suelos en Cuba y el enfrentamiento al cambio climático	121
	<i>Mario Riverol. Investigador del Instituto de Suelos, MINAG, Cuba</i>	

9	Diseño y manejo agroecológico de sistemas de producción agropecuaria	137
	<i>Luis Vázquez. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Cuba</i>	
10	La importancia de la integración ganadera para la conservación del suelo	165
	<i>Fernando Funes Monzote. Agroecólogo y Agricultor privado, Finca Marta, Artemisa, Cuba</i>	

1

BASES CIENTÍFICAS DE LA AGROECOLOGÍA

Dr. Fernando Funes Aguilar

*Estación Experimental Indio Hatuey
Universidad Camilo Cienfuegos (MES)
Matanzas, Cuba*

RESUMEN

Se discute el papel de la Agroecología, a tono con los problemas globales de la agricultura actual, generados por la revolución verde. Se discuten las bases científicas y criterios en contra y a favor de darle carácter científico a la Agroecología, con proyección a solucionar dichos problemas, el enfoque epistemológico, considerándola como ciencia holística que abarca no sólo las concepciones pasadas, sino ampliándolas a una ciencia que da importancia primordial y hace sinergia con todas las otras desde aspectos del suelo, como componente básico, su micro, meso y macroflora, las plantas, animales y árboles y su manejo, la ecología, análisis de los agroecosistemas indígenas y campesinos, y estudios sobre desarrollo rural, vinculados a los componentes ambientales, sociales y económicos, la salud humana y el componente antrópico. Se analiza la importancia de la capacitación agroecológica, el intercambio horizontal y participativo, enfoque de género y otros relacionados.

Se presentan definiciones varias vinculadas con la agroecología y las demás ciencias y movimientos, cuyos principios tienen gran similitud y un objetivo común, que es la sostenibilidad de los agroecosistemas. Se presentan informaciones y comentarios sobre la aplicación de éste nuevo paradigma en Cuba, sobre la base de los resultados obtenidos en distintos programas que vienen siendo aplicados en las últimas dos décadas, con resultados visibles y palpables, y que prometen un futuro luminoso en cuanto al papel de la Agroecología para la producción de alimentos sanos y la reducción y erradicación del hambre y la pobreza en el mundo.

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional conocida como **Revolución Verde**, surge a partir de la Segunda Guerra Mundial y concentró grandes áreas de tierra en manos de pocos propietarios, especialmente empresas transnacionales, y transformó la agricultura en una industria lucrativa a través del comercio de insumos químicos, maquinarias y otros.

Este modelo agrícola tuvo efectos iniciales positivos pero pronto manifestó fragilidad, vulnerabilidad y riesgos para el ambiente, la salud humana y los agroecosistemas. Por otra parte, la agricultura tradicional fue innovadora y capaz de adaptarse a las variadas condiciones ambientales y sociales existentes, logrando en buena medida el equilibrio del agroecosistema.

Con el auge tecnológico mundial se crearon diferencias económicas y sociales entre el sector industrial (más favorecido), y el agrícola (menos). a pesar de ser este último la base del desarrollo de la civilización. Esas diferencias ocasionaron también cambios de valores éticos, todo lo cual motivó el éxodo a las ciudades y pobreza del campo, fundamentalmente en los países del tercer mundo. La industrialización de la agricultura aceleró este proceso y provocó además problemas ecológicos y de salud ya mencionados (Monzote, 2000). Se ha demostrado que el modelo industrial de altos insumos no podrá ser la solución y son necesarias otras formas de hacer agricultura, que muchas veces son la suma de retomar prácticas de nuestros antecesores, experiencias campesinas, indígenas, etc., y unirlas a avances posteriores de la ciencia y la técnica, y ellas nos dan una luz de esperanza hacia sistemas más a tono con la naturaleza, el ambiente y la salud, ahorradores de recursos especialmente externos y que potencian los locales, de manera de producir alimentos sanos de manera económica para la población.

Esta controversia entre industria y agricultura, que llega hasta nuestros días, ha ido conformando dos tendencias que enfrentan una gran batalla de ideas técnicas, científicas, culturales y políticas a nivel mundial. Una rechaza la dependencia de mercados de importación;

las políticas que fomentan la privatización y mejoramiento de semillas; los transgénicos; la biopiratería y patentamiento de la vida; el uso de agroquímicos; los megaproyectos que destruyen los agroecosistemas; el no respeto a las culturas indígenas y campesinas, por tanto, rechazan también la globalización y el neoliberalismo. La otra apoya todo lo contrario y está a favor de las transnacionales que dominan el desarrollo agrícola mundial con falsas expectativas (Monzote 2000).

En contraposición a la agricultura convencional, y apoyadas por la primera tendencia, se desarrollan en el mundo la agricultura natural, orgánica, biodinámica, viva, alternativa, regenerativa, de conservación, y permacultura, entre otras. Más recientemente la agroecología ha integrado estas ideas y métodos de hacer agricultura y tiene sus raíces en las ciencias agrícolas, en el movimiento de protección del medio, en la ecología, en el análisis de agroecosistemas indígenas y en los estudios sobre desarrollo rural (Altieri, 1995), dándole una base científica. Todas estas concepciones tienen una gran similitud y persiguen un objetivo común; la sostenibilidad de los agroecosistemas.

AGROECOLOGÍA, ¿BASE CIENTÍFICA O EMPÍRISMO?

Muchos críticos, especialmente los defensores a ultranza de la agricultura intensiva-industrial de altos insumos, han tratado de estigmatizar la agroecología, señalando que ésta no se sustenta sobre bases científicas. Nada más errado, pues la agroecología no se desarrolla al margen de la ciencia, ni rechaza sus principios, sino que se opone a que la “ciencia” sea considerada como monopolio de la verdad. Muchos estudiosos consideran la agroecología como el nuevo paradigma para salir de la crisis, pero siempre y cuando ello no implique tomar nuevamente el camino equivocado de emplear las mismas bases epistemológicas del paradigma anterior que la generó.

Según Costa Gomes (1999), esta nueva forma debe orientar su relación con la sociedad, haciéndola más democrática y por tanto, menos excluyente. Para lograr un paradigma más flexible en la ciencia, es preciso articular los conocimientos científicos con los

saberes tradicionales y locales. Los conocimientos tradicionales consideran la relación del hombre con la naturaleza, sin ocasionar degradación ambiental, alternativas importantes que deben considerarse como base para la investigación agroecológica. Es por ello necesario estudiar las bases epistemológicas de la agroecología y el surgimiento de la llamada crisis del paradigma occidental de la agricultura, expresada como la crisis del modelo productivista, basado en los preceptos de la **revolución verde**.

La base epistemológica de la agroecología no deberá estar apoyada nien el simple rechazo del cientificismo, ni en la ingenua adoración de la ciencia, sino en una ciencia comprometida con la sociedad y sus necesidades, construida a partir del pluralismo metodológico y epistemológico. No significa abolir elprocedimiento riguroso, sistemático y crítico, ni mucho menos la producción del conocimiento.La agroecología, como discurso científico o como aplicación a modelos de desarrollo, enlaza lo ecológico con las formas de vida, lo que necesariamente la liga a objetivos de transformación social (Costa Gomes,1999).

Para comprender cuán científico es el paradigma de la agroecología, precisamos recordar algunas terminologías que aparecen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Términos relacionados con la ciencia y el conocimiento científico (adaptado de Costa Gomes, 1999)

Gnoseología	Teoría del conocimiento en general (no solo del científico)
Epistemología	Tratado o teoría del conocimiento científico o de la ciencia
Epistemología científica	Comprende el conocimiento científico, también puede expresarse como filosofía de la ciencia.
Epistemología natural	Trata de los saberes cotidianos, expresados en la sabiduría de los agricultores (conocimiento tradicional, indígena, autóctono, campesino, o local).
Método	Procedimiento general del conocimiento científico, común en sus fundamentos, a todas las disciplinas científicas
Metodología	Estudio teórico sobre el método y sus aplicaciones en las ciencias, o en la producción del conocimiento científico
Tecnología	Procedimiento de acción concreto y particular, relacionado con el método científico, o natural, de adquirir conocimiento.

Consideremos pues que la agroecología es una ciencia con sólidas y amplias bases científicas, que bebe y se nutre de otras diversas ramas de la ciencia, entre las cuales podemos citar:

- Ciencias agropecuarias (ciencia del suelo, microbiología, fisiología vegetal, entomología, patología, agronomía, nutrición vegetal y animal, zootecnia, veterinaria y otras).
- Ciencias naturales (botánica, herbología, química, física, matemática, astronomía, ciencias cósmicas, otras).
- Ciencias ecológicas y ambientales (ecología, agroecosistemas, climatología, agrometeorología, otras).
- Ciencias sociales, económicas y políticas (sociología, economía, historia ambiental, otras).

AGROECOLOGÍA, AGRICULTURA ORGÁNICA Y SOSTENIBILIDAD

Analizados todos los aspectos anteriores relacionados con los conocimientos científicos, pasaremos a esclarecer distintas definiciones de los términos agroecología, agricultura orgánica, sostenibilidad y otros términos relacionados, que a veces generan confusiones. El siguiente gráfico (figura 1), expresa la idea de los conceptos antes expresados:



Figura 1. Pirámide de la agricultura sostenible sobre una base agroecológica (Funes 2007)

Extrayendo conclusiones sobre el gráfico anterior, podemos decir que:

- La Sostenibilidad es un objetivo a alcanzar y se le atribuye a todas las formas y tendencias agrupadas en el Movimiento de Agricultura Agroecológica y Orgánica.
- La Agricultura Orgánica, Ecológica y otros términos afines, son formas tecnológicas para lograrla.
- La Agroecología es la base científica, que enfoca el estudio de los ecosistemas desde una perspectiva ecológica, cultural y social.

De lo anterior se desprende, que aunque la Agroecología tiene amplias bases científicas, ella a su vez se convierte en la base científica de los sistemas sostenibles de producción de alimentos.

TERMINOLOGÍA EN AGRICULTURA ORGÁNICA, ECOLÓGICA Y OTROS ENFOQUES

En contraposición a la agricultura convencional, y apoyadas por la primera tendencia, se desarrollan en el mundo diferentes enfoques alternativos, como la agricultura orgánica, biodinámica, de conservación, natural, viva, alternativa, regenerativa y permacultura, entre otras (Funes, 2007). Más recientemente la agroecología integra estas ideas y métodos de hacer agricultura y tiene sus raíces en las ciencias agrícolas, en el movimiento de protección del medio, en la ecología, en el análisis de agroecosistemas indígenas y en los estudios sobre desarrollo rural (Altieri, 1995), dándole una base científica. Todas estas concepciones tienen una gran similitud y persiguen un objetivo común; la sostenibilidad de los agroecosistemas.

En nuestra opinión, estos distintos enfoques persiguen objetivos muy similares, y no tiene sentido discrepar en sutilezas semánticas, que nos puedan dividir, sino por el contrario, abrazar todo lo que nos une en esas distintas corrientes, todas defensoras del medio ambiente y de la lucha por un mundo mejor. Solo debemos alertar que en algunos casos se cuiden del empleo de algunos insumos

empleados por la agricultura convencional, como agrotóxicos, alta mecanización y otros. En general, todos ellos se basan en los principios de ser:

- Culturalmente aceptados por los agricultores.
- Ecológicamente sostenibles.
- Socialmente justos y humanos.
- Tecnológicamente apropiados.
- Económicamente viables

AGROECOLOGÍA

Miguel Altieri, uno de los fundadores de éste paradigma, define la agroecología como la ciencia que integra ideas y métodos de hacer agricultura y tiene sus raíces en: las ciencias agrícolas, el movimiento de protección del medio, la ecología, el análisis de agroecosistemas indígenas y en los estudios sobre desarrollo rural y puede considerarse la base científica de los métodos antes señalados (Altieri 1995).

De acuerdo con Altieri y Nicholls (2006), la agroecología es la disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde una perspectiva ecológica y se define como un marco teórico cuyo fin es analizar los procesos agrícolas de manera más amplia. Considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio donde los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las investigaciones socioeconómicas son consideradas y analizadas como un todo.

Es un grupo de principios y metodologías participativas que logran conjugar los conocimientos de los agricultores y campesinos con los conocimientos científicos, en apoyo al proceso de transición de la agricultura convencional a una agricultura de base ecológica u orgánica. Los sistemas agroecológicos, entrañan aspectos ambientales, sociales, económicos, culturales, políticos y éticos e incorporan un enfoque de sistema, multidisciplinario y participativo. La agroecología responde a las demandas locales y globales para el suministro de alimentos saludables, seguros y sostenibles,

teniendo en cuenta la necesidad de proteger la biodiversidad de los ecosistemas naturales.

La agroecología nunca ofrecerá un paquete tecnológico tipo Revolución Verde, sino que se adaptará a las condiciones existentes en cada lugar y no busca la maximización de rendimientos, sino optimizar el agroecosistema como un todo (Pérez2008), o sea bajo un enfoque holístico.

TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA

Es el paso de la manera convencional de hacer agricultura basada en altos insumos como: fertilizantes químicos, agrotóxicos y otros contaminantes, uso excesivo e ineficiente de maquinarias pesadas, riego, concentrados y energía fósil, hacia nuevas maneras de hacer agricultura con tecnologías de base agroecológica.

Agricultura orgánica

No se refiere a la agricultura que utiliza solamente abonos orgánicos, sino a una agricultura que encaja orgánicamente dentro de los equilibrios naturales. Es una forma de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa en principios ecológicos y en ciclos adaptados a condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos, combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medioambiente y promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los que participan en ella.

Utiliza diferentes técnicas básicas, como: biodiversidad, conservación de suelos y aguas, abonos orgánicos y verdes, rotación y asociación de cultivos, control ecológico de malezas, plagas y enfermedades, conservación del entorno natural, artificialización mínima en la crianza de animales. No está reñida con el desarrollo ni con los avances científico-técnicos, no niega el uso de ciertos elementos químicos al suelo, siempre y cuando no dañen el ambiente y no prefiere las fincas grandes, aunque también se puede desarrollar en éstas.

Por otra parte, Restrepo (1996) considera que la agricultura orgánica es el anuncio y la práctica de una nueva concepción

del universo. A través de ella la humanidad cambiará su relación con el cosmos y en particular con la naturaleza.

El objetivo principal del movimiento orgánico o ecológico mundial, es demostrar que hay otras vías y modelos de desarrollo agrícola a través de los cuales asegurar la alimentación y bienestar de la población mundial de una manera sostenible. Es así como en todas latitudes comienzan a forjarse doctrinas de pensamiento que unen la práctica con la teoría, el conocimiento tradicional con el científico, el empirismo con la técnica y a veces hasta lo desconocido, como parte del pensamiento agroecológico, que cada vez tiene mayor credibilidad y aplicación a los paradigmas de la sociedad moderna (Funes *et al.*, 1999).

En enero de 1999, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1999) reconoce la labor del movimiento orgánico y declaró: la FAO tiene la responsabilidad de dar a la Agricultura Orgánica, un legítimo lugar dentro de los programas de agricultura sostenible y ayudar a sus países miembros en sus esfuerzos para responder a la demanda de los agricultores y consumidores en este sector. La agricultura orgánica puede contribuir a disímiles metas de la sustentabilidad y así lo está demostrando.

Permacultura

Soporte práctico que incide en las tres dimensiones del desarrollo local sustentable (social, económica y ecológica), obteniéndose a través de la misma, resultados permanentes y una nueva cultura del hacer y del vivir (Cruz 2014). Abarca todos los aspectos de los asentamientos humanos, es una ciencia y una ética. Saca provecho del diseño de los sistemas productivos, del entorno natural donde se desarrolla, del ingenioso y eficiente ahorro del agua, es muy apropiada para espacios pequeños y emplea recursos propios y locales.

Agricultura biodinámica

Se basa en recuperar la fertilidad de las tierras a través de la armonización del suelo y la influencia de las fuerzas cósmicas para que las plantas y animales reciban el equilibrio adecuado

y que ello se refleje en la calidad de los productos. Considera a la finca como un organismo vivo (suelo, planta, animal, hombre y cosmos), disminuyendo al máximo la dependencia del exterior y de los agroquímicos. Las técnicas biodinámicas se refieren a la energización de elementos bióticos del agroecosistema por medio del compostaje, materia orgánica y un conjunto de preparados biodinámicos que se aplican siguiendo los ritmos del sol y la luna, los planetas y las constelaciones (Pérez Olaya 2011).

Ecosistema natural

Es el resultado de la evolución conjunta durante millones de años de gran diversidad de especies en cambio y en proceso de selección natural permanente. Todo el espacio del planeta habitado por seres vivos pudiera considerarse un ecosistema.

Agroecosistema

Actuación del hombre sobre el ecosistema natural, alterándolo y volviéndolo artificial en función de la producción de cultivos. Ecosistema agropecuario de cultivos, árboles y animales en interacción con el medioambiente que los rodea (comprende aspectos biológicos, físicos, culturales y socioeconómicos. El enfoque agroecológico busca simular la estructura y función de los ecosistemas naturales, de manera que su estructura y función se conserven.

Biodiversidad

Es la diversidad de seres vivientes existentes en una zona, localidad, región o país. Para preservar la independencia de los países pobres, mantener lo que aún les queda de biodiversidad es un aspecto clave, tanto como recurso estratégico y aún más por el potencial de uso todavía no empleado, lo que despierta la codicia de los países industrializados.

Hoy día una buena parte de la biodiversidad con potencial de uso económico, se encuentra ya en bancos de germoplasma, mientras los verdaderos dueños pueden aprovecharla poco (Costa Gomes, 1999).

Transgénicos

Internacionalmente se considera que la agricultura convencional, y su variante biotecnológica, es ineficiente y degradativa de los recursos naturales y la sociedad; pero esta es empoderada por las transnacionales y los gobiernos, estos últimos por negocio o por desconocimiento; sin embargo, la agroecología, que es la alternativa para la agricultura del futuro, recibe muy bajos presupuestos para la investigación e inversiones, es muy poco considerada en los sistemas de enseñanza y prácticamente no dispone de espacios para la socialización.

Desafortunadamente muchas personas, inclusive progresistas, ven este cambio de paradigma agrícola como retrógrado, no científico y cifran sus esperanzas en una próxima revolución verde, gestada por las compañías biotecnológicas que generalmente afirman que los organismos modificados genéticamente son descubrimientos científicos indispensables necesarios para alimentar al mundo, cuando las verdaderas causas del hambre son la pobreza, la desigualdad, la falta de acceso a la tierra y los alimentos.

Las nuevas innovaciones en biotecnología agrícola, al igual que los agroquímicos son dirigidos a obtener ganancias y no a las necesidades de la mayoría y persiguen de nuevo el monocultivo agravando la actual erosión genética y el sustento de las comunidades. Basándose en la historia y la teoría ecológica, no es difícil predecir los impactos negativos de la simplificación ambiental en la salud de la agricultura moderna (Altieri 1996).

Información científica existe, y mucha, acerca de los problemas que puede ocasionar a la salud y el medio ambiente la liberación de organismos genéticamente modificados para alimentar humanos y animales sobre todo para el tercer mundo donde servimos de conejillos de india, sin descontar los graves problemas económicos que pueden ocasionar a los países pobres, con el libre comercio de dichos alimentos.

Participación

Según Costa Gomes (1999), la participación como metodología y como concepción de trabajo, representa una alternativa a

consecuencia de la adopción masiva del modelo productivista en la agricultura, que fue alejar a los agricultores de los procesos de generación de tecnologías. Entretanto, la participación ciudadana, debe ser entendida y relacionada con el concepto de ciudadanía activa, aquella que instituye al ciudadano como portador de derechos y deberes que posibiliten abrir nuevos espacios de participación política, lo que se distingue de la participación pasiva, que es la otorgada por el Estado con la idea moral de favor y de tutela. O sea, la participación de los agricultores no siempre está relacionada con procesos de inclusión, pues en algunos casos puede solo significar otra tentativa de legitimación de intereses externos, o expresiones dogmáticas, acríticas, simplistas y reduccionistas desarrolladas a partir de las fecundas ideas originadas en las metodologías “participativas”, que intentan establecer nuevas técnicas de control social por instituciones socialmente ya poderosas.

Entonces, la verdadera participación de los agricultores en programas de investigación y desarrollo, es aquella que permita o rescate de la ciudadanía y no el papel de un legitimador de cosas que interesan mas a los investigadores o a las instituciones y sus proyectos.

El enfoque metodológico, basado en los principios reales de la investigación participativa, proporciona la construcción de propuestas donde los agricultores, por medio de sus organizaciones, participan en la articulación de políticas públicas.

Soberanía alimentaria

Capacidad de control y decisión soberana (principalmente de un país), en toda la red alimentaria, desde la producción hasta el consumo, que expresa la necesidad de velar por el autoabastecimiento local, regional y nacional. Enfatiza la necesidad de producir para el consumo de la propia población, evitando al máximo la importación de alimentos.

Resiliencia

Es la capacidad del sistema para recuperarse y mantener su estructura organizacional y su productividad ante cualquier

perturbación o fenómeno. Esta perturbacion puede consistir en un estrés frecuente, acumulativo o impredecible. La resiliencia contiene dos propiedades: resistencia al shock y capacidad y velocidad de recuperación después del shock. Como enfoque agroecológico, un agroecosistema resiliente sería capaz de producir alimentos aun después de sufrir los efectos de una sequia o una tormenta, o también de un incremento repentino de los precios del petróleo, escasez de insumos externos, etc, (Nicholls, 2013).

Sistema agroforestal

Integración de árboles a los sistemas agropecuarios tradicionales. Conjunto armónico que combina especies temporales, anuales, semiperennes y perennes que producen alimentos en forma intensiva para humanos, animales y satisfacer otras necesidades propias del sistema o de los seres vivos que lo habitan.

Sistemas silvopastoriles

Combinan ganadería con árboles forrajeros, forestales y frutales, y resultan un medio adecuado para complementar hábitos alimentarios y comportamiento de los animales y a la vez proporcionan ventajas como sombra, biomasa de calidad, frutas y madera.

SOSTENIBILIDAD Y SUSTENTABILIDAD

Sostenibilidad

Es un término tomado de la ecología y expresa la tendencia de los ecosistemas a la estabilidad y equilibrio dinámico, basado en la independencia y complementación de formas vivas diversificadas. Cuando se trata de agroecosistemas, la agricultura orgánica habla de sostenibilidad no solo en el sentido ecológico sino también económico, social y cultural.

Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), el desarrollo sostenible y sustentable, se define como:

Desarrollo sostenible. Es el proceso mediante el cual se trata de satisfacer las necesidades económicas, sociales, de diversidad

cultural y de un medioambiente sano de la actual generación sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras. En relación con la agricultura, tanto la base científica (agroecología), como los métodos o prácticas empleadas, persiguen un objetivo común; la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Desarrollo sustentable.- Es el proceso según el cual se preservan, conservan y protegen sólo los recursos naturales para el beneficio de las generaciones presentes y futuras, sin tener en cuenta las necesidades sociales, políticas ni culturales del ser humano.

Es necesario considerar estos términos (tan extensamente empleados), con mucho cuidado, pues hasta los defensores a “capa y espada” de la agricultura química, industrializada y de altos insumos tratan de apropiarse de los términos “sostenible” o “sustentable”, cuyas dos definiciones como hemos visto, expresan sustancialmente conceptos bastante similares.

Agricultura sostenible

La agricultura sostenible, generalmente se refiere a una forma de producir que intenta proporcionar rendimientos sostenidos en el largo plazo a través del uso de tecnologías de manejo de corte ecológico (Altieri, 1995).

Según Gliessman (1995) es una agricultura de baja dependencia a insumos externos, uso de recursos locales y renovables. Impactos benignos y beneficios al medioambiente. Mantenimiento de la capacidad productiva a largo plazo, diversidad biológica y cultural. Conocimiento y cultura de los habitantes locales, cantidades suficientes de productos de uso doméstico y para el mercado

Si tenemos en cuenta que la actividad agrícola en sí constituye una intervención del hombre en la naturaleza podemos decir que: Agricultura Sostenible es la capacidad que tiene un sistema de producción agrícola de afectar en un grado mínimo el entorno ecológico y social donde se desarrolla, asegurando la autosuficiencia alimentaria y produciendo bienes de consumo de manera sostenida para las presentes y futuras generaciones a partir de la preservación del suelo, biodiversidad, hombres,

economía, relaciones sociales, etc. que son la base sobre la cual se sustenta su futuro funcionamiento.

Por ello, a nivel internacional se ha promovido un debate sobre la agricultura del futuro, argumentándose que debe ser soberana, sostenible y resiliente; es decir: que logre un alto nivel de autosuficiencia en insumos, tecnologías, energías y producción de alimentos, que sea eficiente y capaz de reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente y que logre sistemas agrícolas climáticamente inteligentes (Vázquez & Funes 2009).

PRINCIPALES RETOS PARA LA ADOPCIÓN DE UN SISTEMA AGROECOLÓGICO

Los sistemas integrados ganadería/agricultura con bases agroecológicas conducen a la sostenibilidad agropecuaria, mejoran la eficiencia productiva y energética, disminuyen la dependencia externa, protegen y mejoran el ambiente, y evitan la migración del campo a las ciudades, al incrementar los empleos para hombres y mujeres rurales. La integración agropecuaria no intensifica el capital, sino la fuerza de trabajo, el uso de la tierra y el conocimiento del hombre, y aporta valiosos elementos para estrategias tecnológicas, energéticas y socio-políticas, vinculadas a la soberanía alimentaria y energética pues con una efectiva integración se incrementa la productividad del sistema, es racional el uso de recursos naturales y de las mejores tecnologías, de manera económica. El sistema, completamente integrado, opera y reacciona como un todo, y alcanza su potencial cuando se optimizan las interacciones entre sus componentes. La integración de cultivos, ganado y árboles, aplicando principios agroecológicos, estrecha los vínculos entre los distintos componentes biofísicos y brinda oportunidades para la multifuncionalidad del sistema.

EXPERIENCIAS CON LA AGROECOLOGÍA EN CUBA

Desde inicios de los años noventa tiene lugar en Cuba un proceso de conversión a gran escala hacia un modelo de

agricultura sostenible basada en los principios de la agricultura orgánica y la agroecología. Las principales tendencias han estado relacionadas con la diversificación, la descentralización y la autosuficiencia alimentaria. Después de veinte años, aún en etapa de consolidación, se presentan nuevos retos que no podrían enfrentarse si no fuera por la fuerte interacción entre investigadores y agricultores en la búsqueda de soluciones innovadoras a los desafíos de una producción de alimentos ecológicamente sana, económicamente factible y socialmente justa (Funes-Monzote & Funes 2011). Esta alianza es particularmente necesaria en tiempos de una situación internacional convulsa, caracterizada por crisis ambiental, financiera y energética que ha repercutido en el aumento del precio de los alimentos en los mercados internacionales, así como el incremento de la pobreza y malnutrición a escala global. No hay dudas de que la agricultura campesina, preservada por los agricultores pequeños, ha constituido el modelo a seguir para la adaptación del sector agrícola cubano a la escasez de insumos externos y el desarrollo de una agricultura más en armonía con los recursos naturales y el conocimiento tradicional local. Y en el futuro seguirá siendo la principal fortaleza del sistema alimentario en Cuba o en cualquier otro país del mundo. Los campesinos pequeños y medianos producen más del 70% de los alimentos en el mundo, sin embargo, son marginados y la mayoría de los pobres y hambrientos habitan en áreas rurales. La experiencia de Cuba, a partir del 2008 sobre la descentralización y entrega de tierras por el estado a los agricultores, sienta una política a imitar y refuerza la posibilidades de aplicación de la agroecología en nuestro país (Funes-Monzote & Funes 2011).

Muchas experiencias desarrolladas durante los últimos años muestran como la interacción entre agricultores y científicos rinde apreciables frutos en términos de innovación tecnológica. Sin embargo, aún queda mucho por hacer en este sentido. A continuación se presentan experiencias de diferentes proyectos en los que se ha desarrollado una concepción horizontal, democrática e inclusiva de construcción de conocimiento agroecológico, en los cuales se han compartido el saber campesino y las informaciones

científicas para alcanzar resultados relevantes en términos ecológicos, técnicos, económicos y sociales. Estos resultados, que resumidos a continuación, pueden servir dentro y fuera del país, especialmente en el tercer mundo, donde se ubican los países más necesitados (cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados y actividades en los principales programas de agricultura agroecológica en Cuba

Programa, actividad	Comentarios y resultados relevantes
Biofertilizantes e inoculantes (Gómez & Martínez-Viera 2014)	Producción de Rhizobium, Bradyrhizobium, Azotobacter, Azospirillum, Fosforina, Biotierras. Uso de inoculantes microbianos y estimulantes
Manejo ecológico de plagas (Pérez, 2004; Vázquez & Pérez 2014)	Más de 250 centros artesanales y cuatro plantas industriales. Aplicados 2000-2500 t/año de bioplaguicidas, a 1 MM ha, ahorran 75% agrotóxicos
Permacultura (Cruz 2014)	Dimensión social, económica y ecológica, resultado permanente, y cultura de hacer y vivir
Agricultura urbana y suburbana (Companioni <i>et al.</i> 2014)	Más de 400 mil personas producen alimentos en las ciudades. Crecimiento sostenido, produce más de 4 MM t de alimentos y nuevos empleos.
Arroz popular (Socorro & Sánchez, 2014)	Áreas marginales, bajos o nulos insumos, apoya consumo familiar de grano básico en más de 40%
Sistemas Agroecológicos Integrados (Monzote <i>et al.</i> 2001; Funes-Monzote 2011)	Diversificación, integración y sinergia ganadera/ agrícola/forestal. En experimentación y producción se han obtenido 4-10 t/ha de productos, con eficiencia energética, ambiental y económica.
Plantas medicinales (García, 2002; Acosta & Tillán 2014)	Rescata tradición popular, soluciona falta de medicamentos, mantiene salud humana y animal
Movimiento agroecológico Campesino a Campesino (Machín & La O 2014)	Intercambio horizontal entre campesinos, promotores, facilitadores, investigadores, con más de 150 mil familias implicadas

Cuadro 2 (continuación)

Programa, actividad	Comentarios y resultados relevantes
Apicultura (Pérez–Piñeiro 2014)	Producción de miel de abejas y sus subproductos
Fincas Forestales Integrales (Calzadilla & Jiménez 2014)	Aprovechamiento económico-productivo de áreas forestales, integran aspectos sociales, ecológicos, laborales y técnicos
Fitomejoramiento participativo, Innovación Agraria Local (Ríos 2014)	Diversidad, mejoramiento, innovación campesina, proceso participativo productor/ investigador, reconocimiento social, mejora económica

Se han obtenido, asimismo resultados científicos de importancia en aspectos como latracción animal, manejo y conservación de suelos y cultivos, nutrición orgánica, energías alternativas, ganadería sostenible (vacuna, avícola, porcina, caprina, ovina, cunícola y otras). También en azúcar, fruticultura y citricultura orgánica, empleo del agua, café y cacao y otras muchas producciones, que permiten incluirlos racionalmente en los diseños de fincas o áreas integrales agroecológicas, aprovechando las sinergias en un enfoque holístico,

La integración agroecológica en Cuba ha mostrado avances tecnológico-productivos, socio-económicos y ecológico-ambientales, tanto en las fincas como en el entorno local y nacional (Monzote 2000a). Los sistemas productivos integrados agroecológicos son resilientes al cambio climático y a los desbalances en la economía al distribuir uniformemente los riesgos del sistema productivo y disponer de más alimentos para la familia en calidad, cantidad y diversidad, detienen procesos erosivos, mejoran la fertilidad del suelo, reducen o eliminan el uso de fertilizantes químicos, contribuyen a la reforestación, disminuyen el impacto ambiental negativo producido por la acumulación de residuos o subproductos de la producción agrícola, pecuaria e industrial, al ser utilizados para la producción de biogás, abonos orgánicos y como alimento animal, lo que reduce la dependencia de importaciones e incrementan las ganancias con menos gastos. Además, proponen una acción

participativa e inclusiva, culturalmente sensible, socialmente justa y económicamente viable.

Este tipo de agricultura se sitúa a favor de un comercio justo, humano y solidario, sin dependencia, desarrollar conciencia de productores y no solo de consumidores, aplica conocimientos y no paquetes tecnológicos, es aliada de la naturaleza y considera al agricultor una unidad cultural y no productiva como la agricultura convencional (Monzote 2000b). El reto futuro es la integración entre los distintos componentes del ecosistema para lograr que actúen los mecanismos de sinergia y consolidar sistemas agroecológicos holísticos, base para la obtención de producciones orgánicas.

La globalización ya está en marcha y forma parte del desarrollo de la civilización actual, *¡cambemos su ruta hacia una globalización del conocimiento, la solidaridad y la lucha por un mundo agroecológico sano y justo!*

REFERENCIAS

- Acosta, L; J. Tillán,. 2014. En prensa. Agroecología en la producción de plantas medicinales. En: Avances de la Agro-ecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez. La Habana. Altieri, M. 1995. Agroecología. Creando sinergias para una agricultura sostenible. Cuadernos de trabajo 1. GIDSARN. UC Berkeley - CLADES.
- Altieri M. 1996. Enfoque agroecológico para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles en los Andes. Enfoque agroecológico. CIED - Universidad de California Berkeley – CLADES. Lima, Perú
- Nicholls, C. 2006. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.PNUMA,Chapingo,México.310pp.
- Calzadilla Jiménez, E. 2014. En prensa. Fincas Forestales Integrales. En: Avances de la Agroecología en Cuba. F. Funes, L. Vázquez. La Habana.
- Companioni Rodríguez-Nodals, N; A, Sardiñas J. 2014. En prensa. Agricultura urbana y suburbana. En: Avances de la Agroecología en Cuba. F. Funes, L. Vázquez.La Habana.
- Costa Gomes, JC. 1999. Pluralismo metodológico en la producción y circulación del conocimiento agrario. Fundamentación epistemológica y aproximación empírica a casos del sur de Brasil. Córdoba, Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, Universidad de Córdoba. 360 pp. (Tese de doutorado).

- Cruz, C. 2014. En prensa. Permacultura. En: Avances de la Agroecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez, 1999. Comité de Agricultura. La Habana. FAO, 15 Período de Sesiones. Tema 8. Roma, Italia.
- Funes, F. 2007. Agroecología, agricultura orgánica y sostenibilidad. Biblioteca ACTAF. La Habana. 24pp.
- Funes, F; Monzote M, Funes-Monzote F. 1999. Perspectivas de la Agricultura Orgánica en Cuba. IIPF- Grupo A. Orgánica. Documento presentado al Consejo Técnico Asesor MINAG. La Habana, Cuba
- García, M. 2001. La medicina verde. Una opción de la riqueza. En: Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible. Eds, F. Funes, L. García, M. Bourque, N. Pérez, P. Rosset. ACTAF-Food First-CEAS, La Habana:119-126.
- Gliessman, SR. 1995. Sustainable agriculture: an agroecological perspective. *Advances in plant pathology*: 11: 45-47.
- Funes-Monzote, F; Funes F. 2011. De la práctica a la ciencia y de vuelta a la práctica: Innovación participativa entre investigadores y agricultores. Conferencia SEAP, La Habana, Cuba.
- Gómez, L, Martínez-Viera R. 2014. En prensa. Inoculantes microbianos y bioestimulantes. En: Avances de la Agroecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez. La Habana. Machín B, La O D. 2014. En prensa. Movimiento agroecológico campesino a campesino. En: Avances de la Agroecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez. La Habana. Monzote M. 2000a. Agricultura Orgánica. Paradigma del siglo XXI. *Agricultura Orgánica*. 6:1:7-10.
- Monzote, M. 2000b. Agricultura, Sostenibilidad y medioambiente en tiempos de globalización. I Taller Nacional sobre el pensamiento cubano con relación a la ciencia. La Habana, Cuba.
- Monzote, M, Muñoz E, Funes-Monzote F. 2001. Integración ganadería-agricultura. En: Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible. Eds, F. Funes, L. García, M. Bourque, N. Pérez, P. Rosset. ACTAF-Food First-CEAS, La Habana:235-256.
- Nicholls, C. 2013. Agroecología y el diseño de una agricultura resiliente al cambio climático. Conferencia. Universidad de Berkeley, Estados Unidos –Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Lima, Perú.
- Pérez, N. 2008. Desafíos de la Agroecología, el papel de SOCLA y la contribución de Cuba. Conferencia. VII Encuentro de Agricultura Orgánica y Sostenible, La Habana, Cuba.
- Pérez-Olaya, LA. 2009. Suelo, agua y sistemas agroecológicos. Material didáctico. ECOFONDO, AGROGUEJAR, AGROCAFÉ, INEM-GREI. Puerto Rico, Meta, Colombia.

- Pérez-Piñeiro, A. 2014. En prensa. Apicultura y Agroecología. En: Avances de la Agroecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez. La Habana. Restrepo, J. 1996. La mejora campesina y la agricultura orgánica. Ed. ACAO – IIPF. La Habana, Cuba.
- Ríos, H. 2014. En prensa. Fitomejoramiento participativo e innovación agropecuaria local. En: Avances de la Agroecología en Cuba.
- Funes, F; L. Vázquez. La Habana. Socorro M, Sánchez S. 2014. En prensa. Producción de arroz con bajos insumos. En: Avances de la Agroecología en Cuba. F. Funes, L. Vázquez. La Habana.
- Vázquez, L., Funes F. 2009. Preguntas y respuestas sobre agricultura sostenible. Una contribución a la transformación de los sistemas agrícolas sobre bases agroecológicas. Biblioteca ACTAF. 45 pp.

2

EL SUELO COMO PRODUCTO DE LA COOPERACIÓN ENTRE LO FÍSICO Y LO ORGÁNICO

Juana Labrador

Escuela de Ingenierías Agrarias.
Universidad de Extremadura. Badajoz. labrador@unex.es

“El eterno movimiento que lleva a las sustancias orgánicas de la vida a la muerte, de ahí a los microbios y finalmente a constituir moléculas químicas simples que son convertidas de nuevo en vida vegetal y animal, es la manifestación física del mito del eterno retorno. ...Así, todas las formas de vida no son sino aspectos transitorios de una misma sustancia permanente...”

René Dubos. Un Dios Interior (1986)

RESUMEN

Desde un punto de vista más funcional que descriptivo, el suelo es el sustento físico y anímico de la vida, un complejo sistema altamente organizado, compuesto de minerales, plantas, organismos de muy diversos tamaños, gases y agua.

Como frontera permeable con la atmósfera, el suelo es una mezcla de energía y materias cósmicas y ambientales y en él, todos los principios regulatorios y las fuerzas de vida se dirigen hacia la fertilidad y la vitalidad de las plantas; utilizando como puente de interconexión la vida del suelo, una suma de organismos y procesos que actúan a nivel metabólico como un eficiente “sistema digestivo” que nutre, depura y regenera nuestro planeta.

La vida del suelo, en este proceso de aprendizaje que significa la evolución, reacciona a las perturbaciones a través de “caminos de creatividad evolutiva” que se graban en el genoma: mutaciones, diferentes formas de recombinación genética y simbiosis, que permiten que la vida se autorregule y autorreproduzca.

La transmutación biogeoquímica de lo orgánico no es simplemente el proceso inverso a la producción primaria. La producción primaria es un proceso que, en última instancia, reside y se desarrolla en cada organismo productor de forma individual, mientras que la descomposición se manifiesta al nivel de la comunidad, siendo un proceso compuesto e integrador cuyos mecanismos de funcionamiento varían entre distintos sistemas y con la escala de análisis, constituyendo probablemente el proceso ecológico más complejo de la biosfera.

DE SUELO A EDAFOSFERA Y DE NUEVO SUELO

Para la agroecología y los modelos agrarios más holísticos, el suelo de cultivo es un ecosistema específico que refleja la cosmovisión y la naturaleza ambiental y humana de cada región donde se práctica la actividad agraria

El suelo es el componente fundamental de la biosfera sobre el que se mantiene no sólo la producción agraria, sino aquellos servicios ambientales que posibilitan el bienestar humano.

El suelo es un sistema auto-organizado y heterogéneo que posee una gran complejidad estructural y funcional, debido a la gran diversidad de sus componentes -abióticos y bióticos- y a los procesos que tienen lugar en su seno. Como todo sistema, evoluciona en el tiempo condicionado por factores ambientales que están presentes en un escenario concreto y en general, en los suelos de cultivo, mantiene una dinámica determinada por un sistema de uso impuesto por condicionantes socioeconómicos y culturales.

Los suelos vivos mantienen en su seno un enorme “capital natural” representado por todas las variedades de organismos. A través de la biodiversidad [agraria](#)¹ y gracias a la presencia de diferentes grupos funcionales y de las interacciones entre ellos, el suelo proporciona servicios ecosistémicos tan vitales como el mantenimiento de la fertilidad de la tierra y del ciclo hidrológico, la polinización de los cultivos, el control de plagas y enfermedades o

¹ La biodiversidad agraria abarca los recursos genéticos –vegetales cultivo y no cultivo, animales y microbios silvestres y domesticados, usados para la alimentación y la producción agraria, así como los elementos culturales -el conocimiento tradicional y local-, la funcionalidad de los elementos que la componen producto de las interacciones entre individuos y entre individuos y su medio.

la regulación del clima; proporcionando las respuestas adaptativas a perturbaciones ambientales naturales o antrópicas.

El suelo es el hábitat natural de la materia orgánica; una fracción edáfica sin la cual no hablaríamos de suelo sino de material disgregado “con posibilidades”. La materia orgánica representa la principal reserva edáfica de carbono. Su participación en moléculas que poseen composición y propiedades diferenciadas, le hacen responsable de actividades fundamentales en el suelo. Su colaboración en y con la vida edáfica genera un conjunto de propiedades emergentes únicas que no se pueden explicar desde la suma de las acciones individuales de sus componentes, proporcionando fertilidad, productividad y resiliencia agrosistémica.

LA RED DE REDES DE LA VIDA EN EL SUELO

Al igual que nuestra piel está habitada por cientos de especies de seres vivos algunos residentes fijos y otros de paso; la edafosfera acoge y mantiene millones de formas de vida. Las consecuencias de su dinámica sobrepasan el universo de su hábitat, abarcando múltiples funciones ecosistémicas.

La vida en el suelo está formada por millones de ciudadanos unicelulares y pluricelulares, procariotas y eucariotas, libres y asociados...que han desarrollado múltiples estrategias cooperativas para la supervivencia mutua..

El conocimiento que tenemos de la vida en el interior del ambiente suelo es muy escaso debido a muchos factores, entre otros: la heterogeneidad del mundo físico y químico, unido a la diversidad de microhábitat y la complejidad de organismos que con su actividad promueven el desarrollo y mantenimiento de un número todavía mayor de espacios para nuevas formas de vida².

Sabemos que la biodiversidad edáfica, está representada por macro y microorganismos de vida libre o asociados a las raíces de las plantas, ligados a la diversidad vegetal, al aporte mayoritario

2 Science publicó un tema especial en el 2004 (Vol. 304, edición 5677) en “Soil, The Final Frontier” sugiriendo que, después de 500 años desde Leonardo Da Vinci, la tierra bajo nuestros pies es todavía tan extraña como un planeta distante.

de materia orgánica –de procedencia vegetal y animal–, a una enorme diversidad de hábitat y a microclimas.

Según estimaciones actuales el número de especies de bacterias superaría la cifra de 30.000, los hongos incluyen más de 1.500.000 especies, las algas 6 000, los protozoos 10 000 y los nematodos 500 000. Otros grupos de la fauna del suelo como colémbolos, ácaros u oligoquetos, también incluyen miles de especies y cada día se describen otras nuevas para la ciencia de todos los grupos mencionados (figura 1).

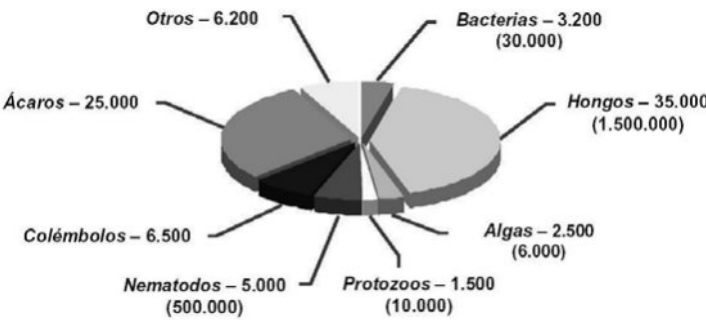


Figura 1. Número de especies conocidas de organismos del suelo y su estimación potencial (García Álvarez y Bello, 2004)

En la clasificación de los organismos del suelo según tamaño, las raíces de las plantas también pueden considerarse, debido a su relación con los demás elementos del suelo. Los organismos interactúan entre sí, con el medio mineral y con la vegetación en la matriz compleja y heterogénea del suelo.

CLASIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS DEL SUELO SEGÚN TAMAÑO			
Microorganismos	microflora	< 5 µm	Bacterias
	microfauna	< 100 µm	Hongos
Macroorganismos	mesofauna	100 µm – 2 mm	Colémbolos
			Ácaros
	macrofauna	2 mm – 20 mm	Lombrices
			Termitas
Plantas	algas		
	raíces.		

A nivel metabólico, el suelo funciona como una compleja red de redes tróficas: un enorme sistema digestivo, con numerosas especializaciones – cómo miles de pequeños sistemas digestivos – que a modo de órganos, actúan en el reciclaje de la materia orgánica y en los ciclos biogeoquímicos de los elementos, a través de variadas estrategias de alimentación.

Para darnos una idea de las proporciones en las que se encuentran los organismos de las redes tróficas del suelo, baste decir que en un metro cuadrado puede haber 760 g de hojarasca, 3,7 g de bacterias, 45 g de hongos y solo 0,1, 0,2 y 0,3 g de protozoos, nemátodos y lombrices.

Las redes tróficas microbianas funcionan de una manera distinta de las redes tróficas de organismos macroscópicos. Las redes tróficas microbianas son más efectivas en la transformación de la biomasa en nutrientes y energía, mientras que los organismos macroscópicos tienen un mejor papel en la trituración y pre-digestión de los materiales orgánicos, aspecto fundamental para que las redes tróficas microbianas sean eficientes fijando biomasa.

Actualmente está demostrado que la estabilidad de los agrosistemas está ligada de cerca a la abundancia, actividad e interacción de los diversos grupos funcionales que componen la red trófica del suelo (Wardle, 2002); y que muchas de estas relaciones están mediadas por la interacción de las plantas como proveedoras de alimento en forma de materia orgánica y hábitat para la vida.

LA MATERIA ORGÁNICA COMO BASE DE LA RED TRÓFICA DEL SUELO

Kluyver, (1956) en su libro *The Microbes Contribution to Biology*, propuso la idea de la “unidad bioquímica de la vida” afirmando *“que toda la vida estaba conectada por el reciclado de la materia y todos los organismos estaban conectados a través de la red de los ecosistemas”*.

La materia orgánica es la suma de los materiales orgánicos de origen biogénico que forman parte del suelo. Una definición más

precisa nos habla de ella como “*el material orgánico de origen biológico, que procede de alteraciones bioquímicas de los restos de animales, plantas y microorganismos y de compuestos procedentes del metabolismo vegetal y microbiano. La encontramos en el interior del suelo – localizada inter e intra agregados –, en la solución y en la superficie del suelo, presentando distintos estados de transformación derivados de la dinámica del medio vivo, de las interacciones con el medio mineral, de los factores ambientales, del tipo de suelo y de las prácticas de manejo*” (Labrador, 2001).

La transformación de la materia orgánica es un proceso sinérgico entre la microflora y la fauna del suelo, aunque no todos los grupos tienen la misma función en los procesos de degradación y neoformación de la materia orgánica. De hecho, no existen grupos individuales sino una gran multiplicidad de organismos de variada plasticidad dietética, englobados en las denominadas “*redes tróficas*”³.

PROCESOS QUE PARTICIPAN EN LA DINÁMICA DEL CARBONO ORGÁNICO	
Deposición	Adición de carbono orgánico a la fracción orgánica del suelo
Descomposición	Proceso de transformación física y degradación bioquímica de materiales orgánicos de origen animal, microbiano o vegetal en y sobre el suelo
Alteración	Conversión de algunas estructuras del carbono orgánico en otras diferentes como resultado de ataques enzimáticos y reacciones químicas
Mineralización	Conversión del C orgánico a CO ₂ a través del metabolismo respiratorio
Inmovilización	Asimilación de los componentes inorgánicos por los microorganismos para incorporarlos en su biomasa. Éstos retornarán al ser biodegradados
Asimilación	Incorporación del carbono orgánico en el interior de los tejidos y células de los organismos descomponedores

3 En los suelos cultivados, los grupos tróficos que predominan son los detritívoros en un 60 a 90%, seguidos por los herbívoros con menos del 30%, mientras que depredadores o parásitos no sobrepasan el 20%.

La diversidad de los aportes de materia orgánica y por tanto la enorme variedad de sus componentes es en palabras de Gonzalo Carcedo (2007) *“una inmensa diversidad de fuentes potenciales de energía que propicia una extraordinaria diversidad funcional, materializada en los organismos del suelo”*.

PPROCEDENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS	
Biomasa	Componentes vivos –vegetales, animales, macro y microorganismos– presentes en el medio edáfico
Necromasa	Contenidos y estructuras celulares, en diferentes estados de transformación, procedentes de la biomasa vegetal, microbiana y animal que viven en y sobre el suelo al morir
Copromasa	Restos procedentes de la digestión animal, de diverso tamaño, transformación y composición
Señales	Sustancias orgánicas de uso y actividad biológico-funcional, que controlan las relaciones entre los organismos del suelo o entre éstos y las raíces. Ejemplo: fitoalexinas, bacteriotoxinas, antibióticos, micotoxinas
Secreciones	Sustancias orgánicas generadas y depositadas por vegetales, animales y microorganismos del suelo; utilizadas con fines constructivos, nutricionales y defensivos en el ámbito de la rizosfera. Ejemplo: rizodepósitos
Neomasa	Productos orgánicos neoformados en el suelo –sustancias húmicas–.

Adaptado de Gonzalez Carcedo, (2007)

En el caso de la materia orgánica procedente de la hojarasca y de los restos vegetales depositados sobre el suelo, éstos no sólo son útiles como alimento, sino que tiene una reconocida eficiencia como hábitat “amable”; ya que modifican la humedad, la luz, la temperatura e incluso la velocidad del viento, lo que implica su influencia sobre la composición de los macro-herbívoros superficiales.

Otros compuestos orgánicos producidos y “depositados” en y sobre el suelo son los procedentes de la copromasa: la excreción de la macrofauna dota al suelo de una parte muy importante de

materia orgánica alterada físicamente, química y enzimáticamente, enriquecida con mucopolisacáridos “intestinales”, bacterias y esporas y elevada capacidad de retención de agua.

Una importante fuente de materia orgánica en el interior del suelo es la rizosfera. La raíz suministra a la microbiota asociada, fuentes de carbono en forma de fotosintetatos y material vegetal degradado. La liberación de material orgánico se produce mediante la excreción de exudados, actuando como señales y/o sustratos de crecimiento para los microorganismos del entorno.

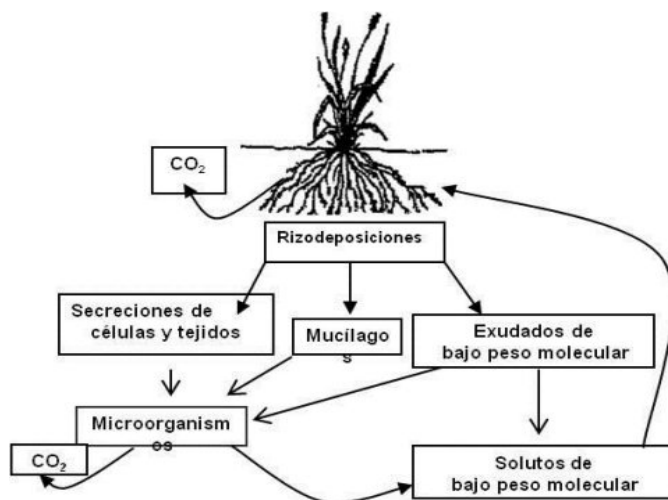


Figura 2. DSLKJL DJFKjsdka kvjas lkdsjfl krjksd f90ie kl c dkfj090 djkf
ldjflkdsj alkj aj fjaslk fklasj fs9'0er

Una vez que la población microbiana se establece, el desarrollo de la rizosfera queda bajo la influencia de los cambios ocasionados en la raíz; inducidos por los microorganismos y por el aporte de nutrientes a la planta, todo ello a su vez, modifica la calidad y cantidad de los exudados radicales⁴.

Además de sus numerosas ventajas para la vida, las enzimas del suelo proporcionan a los microorganismos la energía que se libera al final de la reacción. Las enzimas excretadas de forma

4 Los exudados de organismos y sistemas radiculares actúan como máquinas de embalaje de las partículas del suelo, dando lugar a esos agregados que tan importantes son para que el suelo actúe como una esponja.

activa están en función de las necesidades nutricionales o de sus sistemas defensivos. Las enzimas liberadas tras la muerte celular cooperan puntualmente en determinados procesos edáficos.

EL HUMUS

La etimología de la palabra “humus” es latina. Su conceptualización y sus funciones en el suelo han ido cambiando a lo largo de la historia. El concepto de humus dado por los escritores romanos Virgilio, Plinio el viejo y Colummela, aludía al término “el suelo” o “la tierra”. La primera definición que contempla la conexión con la historia de la humanidad y su dimensión multifuncional fue dada por Waksman, (1938) en su obra *Humus: origen, composición química e importancia en la naturaleza*», que consideraba al humus como «una fuente de abundancia humana en este planeta.

Hoy en día se le da un reconocimiento más actual de su incuestionable papel en la fertilidad del suelo, en el control de plagas y enfermedades, en el control de la erosión y el incremento de la agregación, en el aumento de la biodiversidad edáfica o su importancia en procesos globales como el cambio climático, la regulación del ciclo del nitrógeno, la protección de la calidad del agua y la cosecha de la misma, o los procesos de detoxificación ambiental.

En cuanto a la arquitectura de la matriz del suelo, conviene recordar que la dinámica de transformación y alteración de la materia orgánica ocurre dentro del espacio poroso, por lo tanto su estado y su composición van a influir – a través fundamentalmente de la agregación –, en la estabilidad de la materia orgánica.

La agregación, es la causa y a la vez, el efecto más manifiesto de la protección de la materia orgánica en el suelo.

Para finalizar conviene recordar que la transformación de materiales orgánicos en moléculas más simples constituye un proceso ecosistémico de importancia comparable a la producción primaria. De esta manera, la interacción entre las plantas y la biota edáfica se puede entender como un gran mutualismo en el que las plantas proporcionan el carbono para la biota edáfica y ésta devuelve los

nutrientes necesarios para mantener la producción primaria (De la Peña, 2009).

LA RIZOSFERA COMO FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA

En los ecosistemas naturales, la regulación interna de las redes tróficas de organismos, es en gran parte resultado de la biodiversidad vegetal que influye sobre la magnitud y el flujo de la distribución temporal de carbono. Sin embargo, en los agrosistemas, la intensificación agrícola se aleja de esta forma de regulación, por lo que es de enorme importancia que en el diseño agrosistémico se “imite” el funcionamiento de los ecosistemas⁵.

Las exigencias del mundo vegetal en energía, elementos nutritivos, agua, temperatura adecuada y ausencia de condiciones nocivas son similares a las de los microorganismos, de ahí que la actividad microbiana sea especialmente intensa en torno a la raíz vegetal.

Esto es evidente ya que todo está en colaboración en el mundo vivo del suelo. Nada está aislado de su medio físico, de manera que los componentes edáficos, biótico y abiótico son interdependientes; estando además íntimamente unidos con y a través de la diversidad y estructura de las comunidades vegetales que sustenta. Una vez más se pone de manifiesto que “*sobre un suelo sano, la planta está sana*” Howard (1890).

Cómo decíamos anteriormente, una importante fuente de materia orgánica en el interior del suelo es la rizosfera, definida como “*la zona de influencia de las raíces de las plantas sobre la microbiota del suelo, con propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes de las que caracterizan a un suelo libre de cualquier sistema radical*” (Bowen y Rovira, 1999).

La biodiversidad (vegetal, animal y microbiana) que se expresa arriba de un agroecosistema complejo, tiene su expresión abajo a través de diversidad de sistemas radiculares, que exploran el suelo a diferente profundidad y extensión; y por lo tanto también

5 A través y prioritariamente de diseños complejos de diversidad vegetal (cultivo y no cultivo), que posibiliten una mayor diversidad de hábitat y de fuentes de alimento (rotación, asociación, diversidad varietal, setos, islas florales, etcétera).

se expresa en diversidad de rizosferas y de organismos que coexisten en ellas.

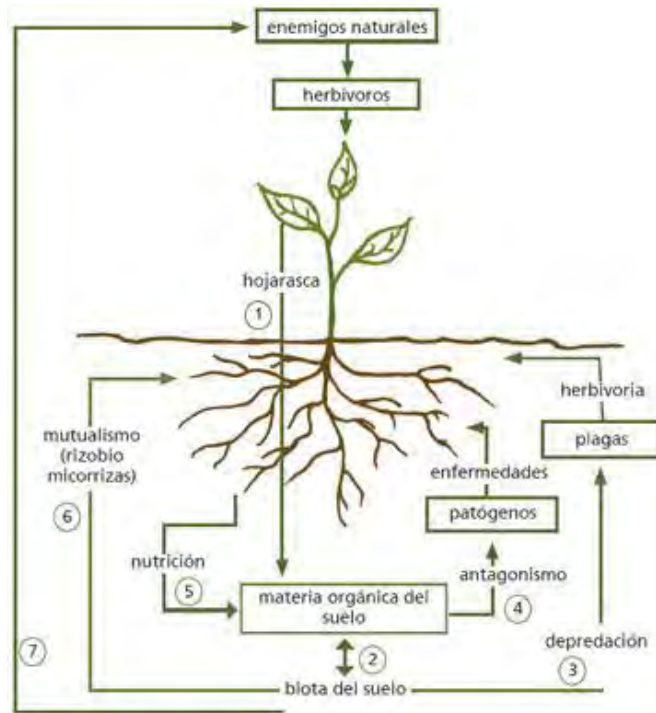


Figura 1. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre el suelo interactúa en el agroecosistema: (1) residuos del cultivo incrementan el contenido de materia orgánica (SOM); (2) SOM provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo; (3) predadores edáficos reducen las plagas del suelo; (4) SOM incrementa antagonistas que suprimen patógenos del suelo; (5) mineralización lenta de C y N que activa los genes que promueven la tolerancia de cultivos a enfermedades; (6) mutualistas incrementan la fijación de N, toma de P, eficiencia del uso del agua, etc; (7) ciertos invertebrados (colémbolos y detritívoros) sirven de alimento alternativo a enemigos naturales en épocas de menor incidencia de plagas (Altieri y Nicholls, 2004).

Los microorganismos interactúan de una manera especial con las raíces de las plantas y con los constituyentes físico-químicos del suelo en la interfase raíz-suelo; este espacio que ocupa unos pocos milímetros da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico, en el que fluyen nutrientes orgánicos, sustancias fitoactivas, minerales y agua junto con una variedad de formas microbianas con actividades diferenciales en función de su posición en la

cadena trófica: Depredadores, herbívoros de raíces, mutualistas, simbioses, parásitos, descomponedores, fijadores de nitrógeno atmosférico, etc.

ACCIONES DE LOS MICROORGANISMOS EN LA RIZOSFERA

- Estimulan la germinación y el enraizamiento, mediante la producción de fitoestimuladores como hormonas y vitaminas
- Incrementan el suministro y la disponibilidad de nutrientes mediante su participación en los ciclos biogeoquímicos
- Mejora de la estructura y agregación del suelo, por su contribución en la formación de agregados estables y en la formación de humus
- Protección de la planta mediante procesos de antagonismo con otros organismos, por metabolización de contaminantes, por incremento de la tolerancia a la salinidad o a la sequía....

Adaptado de Barea, (2001)

La raíz suministra a la microbiota asociada, fuentes de carbono en forma de fotosintatos y material vegetal degradado. La liberación de material orgánico se produce mediante la excreción de exudados, actuando como señales y/o sustratos de crecimiento para los microorganismos del entorno. Una vez que la población microbiana se establece, el desarrollo de la rizosfera queda bajo la influencia de los cambios ocasionados en la raíz; previamente inducidos por los microorganismos y por su aporte de nutrientes a la planta, que a su vez modifica la calidad y cantidad de los exudados radicales .

Una mención especial requiere las simbiosis entre raíces y microorganismos fijadores de nitrógeno y entre raíces y micorrizas. En ambos casos las plantas representan la fuente de sustratos carbonados y obtienen a cambio un aporte significativo de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo y agua. También se establece la simbiosis entre planta noduladas con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y micorrizas.

Los microorganismos de las rizosferas de plantas próximas interactúan entre sí. La rizosfera de una planta puede influir en

la de la otra, de ahí la importancia de la diversidad vegetal (que es diversidad radicular) en el diseño de los agrosistemas. Cómo funciona el metabolismo en la rizosfera es un ejemplo más de los mecanismos para la supervivencia que se repiten en la naturaleza; mecanismos “inteligentes” de evolución basados en la interacción entre las comunidades que lo forman, en la especialización del trabajo y en la cooperación mutua.

Y al fin y al cabo esa cooperación se extiende a través de la memoria de todas las moléculas viva, de todos los átomos que forman lo inerte y así, desde una visión planetaria holística, la tierra es un gran organismo, un todo indivisible, producto de un mecanismo cósmico armonioso, en el que el azar está excluido, y cuyas regularidades no son atributo exclusivo de nuestro planeta (Vernadsky, 1926). La verdadera exclusividad de la tierra se expresa en la biosfera, que es de nuevo, el producto de la “cooperación” entre las fuerzas cósmicas y las múltiples manifestaciones de los procesos terrestres; manifestaciones que han encontrado su punto de unión en la interacción entre las comunidades que lo forman, en la especialización del trabajo y en la cooperación mutua.

REFERENCIAS

- Altieri MA, Nicholls CI. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64 (2):269-285.
- Bello, A., López Pérez, J.A., Díez Rojo, M.A., López Cepero, J., García Álvarez, A. 2008. Principios Ecológicos en la gestión de los agrosistemas. *Arbor*. 729:19-29.
- Coleman, D.C.; Hendrix, P.F.; Odum, E.P. 1998. Ecosystem health: an overview. In: Wang, P.H. (Ed.), *Soil Chemistry and Ecosystem Health*. Soil Science Society of America Special Publication N° 52, Madison, WI, pp.1–20.
- De la Peña, E., 2009. Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas* 18(2):64-78.
- Gliessman, S. R. 2001. *Agroecosystem sustainability: developing practical strategies*. Advances in agroecology. Boca Raton, Fla.: CRC Press.

- Guerrero, R.; Berlanga, M. 2005. El planeta simbiótico: contribución de los microorganismos al equilibrio de los ecosistemas. Actualidad SEM 36:16-22
- García-Álvarez, A. ; Bello, A. y M. A. Díez-Rojo 2004. Ecología de suelos, manejo de la materia orgánica e investigación. I Conferencia Internacional Eco-biología del suelo y el compost. Tenerife.
- Hayes, M.H.B.; Clapp, C.E., 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and enviromental influences. Soil Science, 166:723-737.
- Kluyver, A.J. 1956. The Microbes Contribution to Biology. Harvard University Press.
- Labrador, J.; Altierl, M.A. (2001).- Agroecología y Desarrollo. Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agrosistemas mediterráneos. 566 págs. UNEX / Mundi-Prensa
- Labrador J. 2001.- La materia orgánica en los agrosistemas. Ed. MAPA / Mundi-Prensa. Madrid.
- Labrador, J.; Sicilia, A.; Torrejón, A. 2009. Agroecología, fertilidad y mediterraneidad. Agroecología 4:97-110
- Leon Sicar, T.E. 2009. Agroecología : desafíos de una ciencia ambiental en construcción. Agroecología 4 :7-17
- Primavesi, A. 1980.- Manejo ecológico del suelo. Ed. Ateneo, México
- Vernadsky, V. 1926. The Biosphere, first published in Russian
- Waksman, S.A. 1938. Humus: origin, chemical composition, and importance in nature. The Williams & Wilkins company.

3

EL SUELO AGRÍCOLA. UNA PERSPECTIVA DESDE LA PATOLOGÍA VEGETAL

J.C. Tello Marquina

Escuela de Ingenierías Agrarias.

Departamento de Agronomía

Universidad de Almería (España)

RESUMEN

En el suelo habita una amplia microbiota que interactúa entre sí y con las plantas de manera compleja. Se analizan estas relaciones y los sistemas de autorregulación existentes desarrollados como resultado de su larga evolución conjunta. Se analiza también el efecto de las “tierras cansadas” bajo esta misma perspectiva.

ASPECTOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS QUE CAUSAN ENFERMEDADES EN LAS PLANTAS

Hace más de 150 años dos enfermedades asolaron los cultivos de vid y de papa en Europa. En Irlanda el tizón o mildiu de la papa (agente causal *Phytophthora infestans*) ocasionó una hambruna terrible que dio lugar a millones de personas que murieron o emigraron. Por la misma época el mildiu de la vid (agente causal *Plasmopara viticola*) asoló el viñedo de todo el continente. Millardet ideó el caldo bordelés (preparado a base de una sal de cobre) eficaz para disminuir las pérdidas debidas a dichos patógenos. Todavía sigue siendo un remedio eficaz. A través de los años numerosas técnicas de aplicación y fitosanitarios nuevos se han sucedido. Pese a todo ello no se ha conseguido una erradicación de ambos parásitos. Con escasa frecuencia se reflexiona sobre el fracaso

que este hecho representa, frente a las medidas propuestas para conseguir tal fin.

Mediados los años 80 del siglo XX se hizo una sugerencia que es fundamental para entender este fracaso: el concepto de patosistema. O lo que es lo mismo mirar la agricultura desde una perspectiva holística, o si se quiere, como lo que es, un sistema. La relación de las plantas con los parásitos ocurrió desde que aparecieron las primeras plantas sin flor (unos 500 millones de años) y las que florecían (unos 150 millones de años). Y tanto las plantas como sus parásitos han llegado hasta nuestros días. ¿Por qué?. Sencillamente, porque el sistema planta-parásito se autorregula, utilizando para ello sus propios controles internos. Cuando el sistema agrícola rompe ese equilibrio, los parásitos se multiplican hasta acabar con su hospedador. Hay múltiples ejemplos que demuestran el anterior aserto. Reflexionemos sobre uno de ellos: el hombre tiende a obtener y extender cultivares de una especie vegetal uniforme para producir más y en esa situación el parásito no encuentra freno a su crecimiento, al no existir variabilidad en el hospedador. A este hecho no escapan las actuales variedades transgénicas, a las que se ha introducido un gen extraño, procedente de una bacteria del suelo.

El desequilibrio en el sistema agrario puede explicar la permanencia de los patógenos de plantas y la aparición de nuevos. También las nuevas tendencias que se denominan, de manera genérica, “manejo integrado”

ASPECTOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS HONGOS DEL SUELO

En el suelo habita una microbiota amplia y compleja: artrópodos, lombrices, nematodos, hongos, bacterias, actinomicetos, amibas, virus, algas y algunos más. En este trabajo el enfoque se hace a partir de los hongos.

Después de analizar numerosos suelos uno se percata de que la mayoría de los hongos que se aíslan no han sido citados como causantes de enfermedades de plantas: *Humicola*, *Gilmaniella*,

Penicillium, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria* (tipo *catenatae*), *Trichoderma*, *Beauveria*, *Geotrichum* y un largo etcétera. Otros tienen dos facetas, una parte de sus miembros son patógenos de plantas y otra parte son meros saprofitos, sin saber por qué se establecen esas diferencias. Un caso paradigmático lo representa la especie *Fusarium oxysporum* capaz de presentar más de 190 formas especializadas sobre una especie vegetal cada una, mientras que mayoritariamente en el suelo es un saprofito. Finalmente, otro grupo son simbioses de las plantas; es el caso de los hongos micorrícicos como *Glomus*, *Lactarius* y otros.

¿CÓMO SE DESARROLLAN ESTOS MICROORGANISMOS EN EL SUELO? ¿CÓMO VIVEN?

Es evidente que dado que son organismos heterótrofos, no pueden producir sus propios alimentos. Deben aprovecharse del alimento existente. ¿Quién produce alimento en el suelo?. Obviamente las raíces de las plantas, que excretan sus detritus a la rizosfera. ¿Cuál es la otra fuente de alimento para los microorganismos necrotrofos y saprofitos facultativos?: la materia orgánica muerta, proceda ésta de restos vegetales o de cadáveres de otros habitantes del suelo. Pocas veces nos detenemos a pensar el magnífico servicio que nos prestan a toda la humanidad. Imagínese un bosque donde sus pobladores muertos a lo largo de la historia no hubiesen sido descompuestos y transformados por los microorganismos. La vida en el planeta, de ser posible, ¡qué diferente sería!

Dado que las poblaciones de los habitantes del suelo son muy elevadas, ¿cómo se organizan para alimentarse todas?. La naturaleza ha establecido un principio que ordena la alimentación. Se denomina **fungistasis**. Mientras no existe en el suelo alimento para que toda la población pueda alimentarse, esta no crece. Es decir, si existe alimento sólo para el 40% de los individuos, la población no se multiplica. Esto es un freno evolutivo, pues si así no actuaran las poblaciones tenderían a desaparecer. Y su ausencia sería negativa para el desarrollo vegetal. Tan negativa,

que las plantas no se desarrollarían. Si esto es así, es bien claro que la **fertilidad del suelo** está fundamentada en las poblaciones microbianas que lo pueblan y por extensión en la materia orgánica por descomponer.

Este aspecto es poco conocido. En disciplinas como fitotecnia o edafología no se abordan estos aspectos más que de manera muy restringida. Limitada, prácticamente, a las bacterias simbióticas como *Rhizobium* o a las que intervienen en el ciclo del nitrógeno, como *Nitrosobacter*. Tampoco la patología vegetal que aborda los patógenos edáficos ha sido pródiga en aportar información. Normalmente, se consideraba al suelo como el reservorio inerte del inóculo del patógeno que esperaba la llegada de la raíz de una planta para parasitarla. La situación es mucho más compleja que toda esa simplificación. Hay hechos que así lo ponen en evidencia. Cuando se intenta inocular un suelo no esterilizado, muy raramente el patógeno se instala y se expresa. Este principio no es tenido en cuenta al recomendar el uso de microorganismos beneficiosos para el control de los que son patógenos.

Muy poca información se ha generado sobre cómo actúan los grupos de hongos en el suelo a la hora de colonizar la materia orgánica, para iniciar su descomposición. Por ejemplo, se sabe que los denominados “hongos del azúcar” son los encargados de iniciar la descomposición. Son hongos como *Pythium*, muchas de cuyas especies son causantes de enfermedad y de un rápido crecimiento. La secuencia sigue con los descomponedores de celulosa y hemicelulosa. Es decir, parece que los micromicetos están organizados para evitar interferencias entre ellos.

Pero las relaciones son todavía más íntimas. En el caso de los suelos supresivos a las enfermedades donde la supresividad es de naturaleza microbiológica, las relaciones entre *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (patógeno del melón), *Fusarium oxysporum* (no patógeno) y las bacterias *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens* servirán como ejemplo. Para que el patógeno pueda alcanzar la raíz de la planta hospedadora y enfermarla, compete en la rizosfera con *F. oxysporum* no patógeno hasta agotar el alimento fácilmente disponible (azúcares). Normalmente el no

patógeno es más vigoroso y crece más rápido que el patógeno. Cuando dicho alimento se ha agotado compiten por el hierro, pero el hierro está en forma férrica (Fe^{+3}) en el suelo y no es asimilable. Son las *Pseudomonas* fluorescentes (el pigmento fluorescente está conformado por sideroforos, sidero significa hierro y foro, transportador) las encargadas en la rizosfera de quelar el hierro y pasarlo a forma ferrosa (Fe^{+2}), siendo asimilado por la planta como precursor de la clorofila. El hongo necesita el hierro (Fe^{+2}) para crecer y las bacterias dejan la rizosfera deficiente en dicho elemento, impidiendo que tanto el patógeno como el no patógeno puedan crecer y colonizar las raíces de las plantas, evitando en consecuencia la infección y la expresión de la enfermedad en el melón.

Es posible que todavía queden más fenómenos de este tipo por describir, pero el ejemplo pone de manifiesto la complejidad de la vida microbiana en el suelo. Es fácil colegir que esta propiedad de supresividad se puede transmitir a suelos que carecen de ella. Aunque es necesario advertir que todos los suelos tienen en mayor o menor medida esa **propiedad de supresividad**, y son, precisamente, las prácticas de manejo las que pueden hacer que ésta desaparezca. Entre esas prácticas destacan las fumigaciones químicas del suelo. Fumigaciones que en Europa están siendo muy limitadas. Limitación que parte del modelo propuesto por el Protocolo de Montreal de eliminar el uso en agricultura del bromuro de metilo, por sus efectos negativos en la capa de ozono de la estratosfera y sus derivaciones sobre la salud humana. El modelo en la Unión Europea tiende a mantener la diversidad microbiana en el suelo. Diversidad que se mantiene o incrementa mediante el uso de materias orgánicas poco descompuestas, aplicadas mediante las técnicas de biodesinfección. Y no son, hoy por hoy, capaces de tal función el uso de microorganismos auxiliares especialmente por la complejidad que un suelo tiene y las deficiencias en el conocimiento sobre las técnicas de su aplicación al suelo, para conseguir su instalación. Y no es la única deficiencia. Desconocemos que comportamiento puede llegar a tener un microorganismo beneficioso con respecto a las plantas. Por ejemplo, se ha descrito como diversas bacterias y hongos

no reputados como fitoparásitos, actúan como fitorreguladores fomentando el crecimiento de las plantas o inducen en éstas una mayor resistencia a los patógenos. Pero también se han publicado informaciones sobre que dichos microorganismos pueden actuar como patógenos. Tal es el caso de *Pseudomonas putida* y tomate cultivado en sacos de perlita, donde la variación de la salinidad del agua de riego, induce a la bacteria a enfermar a las plantas colonizando el sistema conductor de savia.

LA FATIGA DEL SUELO O FENÓMENO DE LAS “TIERRAS CANSADAS”

Las líneas anteriores dejan claro que el suelo no es un receptáculo inerte, al contrario podría considerarse como un “ente vivo”. Prueba añadida es el fenómeno que se comenta en este apartado.

Las tierras cansadas es un suceso del suelo que se conoce desde antiguo. Tal vez el barbecho, recomendado por Columela en el SI de nuestra era, tenga relación directa con la fatiga. Fatiga que está estrechamente asociada con el monocultivo, y se aprecia por una merma de la producción y del vigor de las plantas en ausencia de enfermedades que no se corrige con el abonado y el riego.

Se han descrito tres tipos de fatiga. Una física, debida al endurecimiento del suelo por los aperos (suela de labor). Otra debida a los efectos fitotóxicos de sustancias químicas, como las alelopáticas debidas a exudados de las plantas (caso conocidos desde antiguo son los espárragos y el sorgo, que emite la sorgoleona con un marcado carácter herbicida). Y una tercera debida a los microorganismos del [suelo](#)⁶.

Se tomará como ejemplo un modelo basado en el monocultivo de pimiento practicado bajo invernadero en España. Suelos donde se practicó el monocultivo durante 12 años, disminuyeron su producción un 60%. Suelos donde la reiteración era de sólo dos años mermaron en un 25% sus cosechas. En ambos casos no se expresaron los dos patógenos que son limitantes para el

⁶ Existe información sobre este tipo de fatiga en cultivos de trigo, fresa, tomate, remolacha, apio, manzanos, etcétera).

cultivo (*Phytophthora* y *Meloidogyne*). La desinfecciones del suelo disminuían el efecto fatiga, indicando de esa forma que podría tratarse de un fenómeno microbiológico, aunque dicha práctica enmascaraba una degradación agronómica. El análisis de suelos desinfectados reiteradamente con bromuro de metilo redujeron la microbiota fúngica prácticamente a tres géneros: *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium*, y este último estuvo representado muy mayoritariamente por la especie *Fusarium solani*. Cuando en los suelos ensayados se cultivaba apio, lechuga o cebolla el fenómeno no se producía, indicando así que la fatiga era específica del pimiento y ocurría por la reiteración del cultivo en el mismo suelo. El mismo fenómeno de recuperación del suelo se ha conseguido con la aplicación de la biodesinfección, utilizando para ello estiércoles frescos y los propios restos del cultivo anterior.

REFERENCIAS

- Guerrero, M.M., P. Guirao, M.C. Martínez-Lluch, J.C. Tello, A. Lacasa. 2014. Soil fatigue and its specificity towards pepper in greenhouses. Spain J. Agric. Res., 12(3), 644-652
- Tello Marquina J.C., D. Palmero Llamas, A. García Ruíz, M. de Cara García. 2010. Biopesticidas obtenidos de las plantas, un resultado más de la coevolución. In: Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Cord: J.C. Tello Marquina y F. Camacho Ferre. Ed: Fundación Cajamar. Almería, 81-105.
- Tello Marquina J.C., D. Palmero Llamas, A. García Ruíz, M. de Cara García. 2010. Biodesinfección del suelo para el control de micosis de origen edáfico, corrección de la "fatiga" y efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo. In: Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Cord: J.C. Tello Marquina y F. Camacho Ferre. Ed: Fundación Cajamar. Almería, 401-418.
- Tello Maquina J.C., M. de Cara García, A. Moreno Díaz, M. Santos Hernández, D. Palmero Llamas. 2011. El suelo como "ente vivo" y su relación con las enfermedades de las plantas. In: Agricultura ecológica en secano. Cord: R. Meco Murillo, C. Lacasta Dutoit, M.M. Moreno Valencia. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Sociedad Española de Agricultura Ecológica y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 181-219.0

4

LOS MICROORGANISMOS, BIOINDICADORES DE FERTILIDAD DEL SUELO

M.C. Jaizme-Vega

*Departamento de Protección Vegetal
Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA)
Apdo. 60- 38200 La Laguna-Tenerife-Islas Canarias
e-mail: mcjaizme@icia.es*

RESUMEN

El suelo es un recurso no renovable que realiza funciones ambientales, sociales y culturales claves, que son vitales para la vida de los humanos y para la sostenibilidad global de los ecosistemas, conocidas como “servicios de los ecosistemas”. Estos servicios resultan del funcionamiento y de la interacción entre organismos del suelo (microbios, fauna y plantas). Entre ellos, los microbios tienen un papel clave e influyente sobre un gran número de procesos vitales, que incluyen la adquisición de nutrientes y el ciclado de nitrógeno y carbono. Los microorganismos también, producen fitohormonas favorecedoras del enraizamiento, protegen a la planta frente a los patógenos, descomponen sustancias tóxicas en el ecosistema y mejoran la estructura del suelo. Protozoos, algas, hongos, bacterias y actinomicetos entre otros, configuran la red microbiana de la fertilidad del suelo. La interacción entre estos grupos poblacionales y los elementos físico-químicos es constante, de tal forma que el suelo no es una entidad inerte, sino un entramado de complejas relaciones interdependientes entre las tres fracciones que lo componen: física, química y biológica. La alteración de una de ellas, tendrá respuesta en las otras. Esto es especialmente evidente en los agrosistemas, si los comparamos con ambientes naturales como praderas y bosques, donde las interacciones planta-microbio están enmascaradas debido a la agricultura intensiva, con el uso de grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados y fosforados y pesticidas. Si los efectos de la agricultura no se controlan, los sistemas agrícolas y los naturales podrían degradarse con la consiguiente pérdida de biodiversidad y futuras limitaciones de los servicios que estos sistemas son capaces de proveer.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades microbianas del suelo son imprescindibles para el mantenimiento del balance biológico del mismo y una pieza clave en la sostenibilidad de cualquier ecosistema natural o agrícola. Bajo la perspectiva de una agricultura sostenible, el suelo deja de ser un soporte inerte sobre el que crecen los cultivos, para convertirse en un elemento activo del sistema. El suelo está compuesto por factores físicos, químicos y biológicos interrelacionados entre sí y con una clara repercusión en el desarrollo de las plantas. Al contrario que en los sistemas agroindustriales, en donde se alimenta a los cultivos a través del suelo, mediante la aplicación de agroquímicos, los sistemas de producción sostenible inciden en nutrir a la vida edáfica para que ésta, a su vez, dé sustento a la planta. Para ello, es imprescindible un conocimiento profundo de los mecanismos que rigen los sistemas microbiológicos del suelo.

En la actualidad, el concepto de “calidad del suelo” se relaciona directamente con la productividad, la salud y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Desde el punto de vista agronómico la “calidad del suelo” es expresado como “fertilidad” y define la capacidad de un suelo para soportar sostenidamente plantas sanas y productivas. Las interacciones de las propiedades físicas, químicas, biológicas y climáticas del sistema son las que identifican la fertilidad de los suelos (figura 1). Entre estos factores, los componentes biológicos, son quizás los que menos atención han recibido. Las partículas minerales y orgánicas del suelo se asocian para formar agregados, constituyendo un entramado que alberga la fase gaseosa o atmósfera del suelo y a la fase líquida o solución acuosa del suelo. El hábitat resultante es muy favorable para los microorganismos del suelo que se acomodan tanto en el exterior como en el interior de los agregados, y se asocian a las raíces de las plantas creando una zona en torno al sistema radical de gran actividad conocida como **rizosfera**.

Dentro del suelo, la rizosfera es una zona con características propias, como resultado de la excreción permanente de compuestos carbonados (azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, etc...),



Figura 1. Interacción de los diferentes factores que influyen en la calidad del suelo (tomado de BAREA, 2009)

por parte de las raíces. Este fenómeno natural, denominado como “rizodeposición” es el responsable de una intensa actividad microbiana en el área cercana a la raíz.

La abundancia y la diversidad de las comunidades de microorganismos del suelo dependen de la diversidad vegetal, del tipo de suelo (pH, textura....) y del uso de la tierra. La diversidad vegetal es el principal factor que afecta a los microorganismos de la rizosfera. La diversidad microbiana puede ser explicada por patrones específicos, que varían con las especies de plantas, con la edad de las mismas y la extensión de la zona radical. Por lo tanto, es evidente que las plantas modulan la abundancia, la estructura y la función de las comunidades microbianas del suelo. Dentro de un tipo concreto de suelo, las plantas son seleccionadas por la microbiota presente en función de la biodiversidad de las comunidades rizosféricas. Por otra parte, las plantas son sensibles a la actividad microbiana y pueden mejorar su rendimiento dependiendo de las actividades de los microorganismos asociados. Esta dinámica de retroalimentación entre plantas, suelo y microorganismos esta activa en los sistemas

naturales, pero generalmente esta suprimida en los sistemas agrícolas convencionales.

Las relaciones entre microorganismos del suelo y los sustratos energéticos de los que depende su supervivencia, están reguladas mediante un sistema complejo que facilita la vida microbiana y garantiza la nutrición vegetal. Este entramado es lo que algunos autores han llamado Red Nutricional del Suelo.

¿QUÉ ES LA RED NUTRICIONAL DEL SUELO?

Casi todo el mundo cree que las plantas toman los nutrientes a través del sistema radical y pasan el alimento a las hojas. Pocos conocen que una parte de la energía que resulta de la fotosíntesis en las hojas es utilizada por las plantas para producir sustancias químicas que secretan a través de sus raíces. A estas excreciones le llaman exudados y están constituidos por carbohidratos (incluidos azúcares) y proteínas. Su presencia promueve el crecimiento de bacterias y hongos benéficos del suelo y que usan como sustrato energético a los exudados y al material celular que se desprende de las raíces como consecuencia de su crecimiento. Todas estas secreciones de exudados y células muertas se incorporan a la rizosfera donde viven mezclados los microorganismos del suelo, incluyendo bacterias, hongos, nemátodos, protozoos e incluso organismos más grandes. Toda esta **vida** compite por los exudados, por el agua y por los minerales (figura 2).

En la base de la red nutricional del suelo están **las bacterias y los hongos** que se alimentan directamente de los exudados. A su vez ellos son comidos por microorganismos mayores como **nemátodos y protozoos** (amebas, paramecios y ciliados). Todos lo que estos microorganismos no necesitan, es excretado como basura y las plantas lo absorben rápidamente como nutrientes.

En el centro de cualquier red nutricional están **las plantas**, que controlan la red en su propio beneficio, circunstancia sorprendente y poco conocida por los productores, quienes interfieren constantemente con este sistema natural. En función del tipo de exudados



Figura 2. Red Nutricional del Suelo (tomado del libro "TeamingwithMicrobes", Lowenfels y Lewis, 2010)

que produzca la planta, será la población de hongos y bacterias de la rizosfera. Estos microorganismos se comportan como "saquitos de fertilizante", reteniendo en sus estructuras nitrógeno y otros nutrientes que obtienen de los exudados y de la materia orgánica. Por lo tanto nemátodos y protozoos actúan como "difusores de fertilizantes" ya que liberan los nutrientes almacenados en hongos y bacterias al digerirlos y excretar después lo sobrante como carbono y otros nutrientes.

Los protozoos y los nemátodos son a su vez consumidos por **los artrópodos**. Los artrópodos del suelo se comen unos a otros y ellos son el alimento para **culebras, pájaros, topes y otros animales**. La búsqueda de presas de los miembros de la red y la manera de protegerse, constituye una dinámica que tiene impacto sobre el suelo. Las bacterias son las más pequeñas de la cadena y necesitan pegarse a las cosas que les rodean para

evitar ser arrastradas. Para unirse entre ellas producen un limo viscoso que sirve además para mantener unidas las partículas del suelo. Por otro lado, las hifas fúngicas se mueven a través de las partículas del suelo uniéndolas entre ellas y formando agregados. Los gusanos, junto con las larvas de insectos y los topos y otros animales cavadores, se mueven en el suelo en busca de alimento y protección creando galerías que permiten que circule el aire y el agua. Por lo tanto, la red nutricional del suelo, además de proporcionar nutrientes a las raíces en el entorno rizosférico, también crea la estructura del suelo.

LOS MICROORGANISMOS COMO BIOINDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

Desde las últimas décadas del pasado siglo, la producción agrícola mundial ha experimentado una gran evolución con un incremento en los rendimientos gracias a la aplicación de fertilizantes minerales y productos químicos. Este sistema, asimilable a una agroindustria basada en continuos y elevados rendimientos en la producción, ha requerido de dosis masivas de diversos tipos de insumos. El coste ambiental derivado se resume, entre otros, en acumulaciones de nitratos, nitritos, pesticidas y otras sustancias perjudiciales en los suelos y acuíferos. Entre las consecuencias negativas de estos manejos agrícolas están los efectos adversos sobre los habitantes del suelo y los procesos biológicos que condicionan la fertilidad del mismo. Aspectos como el laboreo, la presencia de cubierta vegetal, aportes de materia orgánica, uso de químicos de síntesis (fertilizantes y pesticidas) o la variedad vegetal cultivada, pueden incidir sobre la microbiota edáfica.

Tradicionalmente, los sistemas de diagnóstico de la fertilidad y calidad de suelos se han basado en la determinación de parámetros físicos y químicos sin considerar los aspectos biológicos. Esto es comprensible si se considera: i) la reciente incorporación de la biología del suelo al concepto de fertilidad y ii) la complejidad del sistema suelo en dónde decidir qué grupos biológicos son más representativos, cuantificar su efecto y sistematizar su

interpretación no resulta evidente. Para poder incluir el ámbito biológico en los análisis de suelo, es imprescindible definir una serie de indicadores biológicos o bioindicadores. El bioindicador ideal debería permitir determinar el estado de calidad del suelo con una medida sencilla, amplia validez y sensible a los cambios. La realidad del suelo hace que la elección un único bioindicador sea insuficiente y generalmente se habla de un conjunto mínimo de bioindicadores. De cualquier forma, el número y la naturaleza básica de los mismos continúa siendo objeto de debate entre los autores y no existe un protocolo específico para determinar la calidad del suelo a través de indicadores microbiológicos que hagan referencia a la fertilidad o valor agronómico del mismo.

Los microorganismos están dotados con la capacidad para dar una medida integrada de la salud del suelo en un momento dado. Este aspecto no puede ser solamente obtenido mediante el análisis del componente físico y químico del suelo o la diversidad de organismos superiores de la cadena alimenticia. Los microorganismos responden rápidamente a cambios y por tanto se adaptan igualmente rápido a las condiciones ambientales. Esta adaptación potencialmente permite que los análisis microbianos puedan ser discriminantes en el asesoramiento de la salud del suelo y las variaciones en las poblaciones. Las actividades de los microorganismos funcionan como excelentes indicadores de cambios en la salud del suelo. Si comparamos con otros organismos más altos en el nivel trófico, los microorganismos responden de manera rápida al estrés ambiental, porque tienen una estrecha relación con sus alrededores debido a su alta relación superficie-volumen. En algunos casos, cambios en las poblaciones microbianas o sus actividades pueden preceder cambios detectables en las propiedades físicas y químicas del suelo.

En los últimos tiempos, la tendencia hacia prácticas agrícolas más sostenibles ha puesto de manifiesto la necesidad de profundizar en la biología del suelo. No existe sin embargo, una regulación específica para determinar la calidad del suelo a través de indicadores microbiológicos que hagan referencia a la fertilidad

o valor agronómico del mismo. Desde una perspectiva sostenible, el manejo de los sistemas se fundamenta entre otros aspectos, en comprender la dinámica de las poblaciones microbianas del suelo. Los sistemas agrícolas sostenibles revelan la relación directa existente entre contenido en materia orgánica, la biodiversidad y la fertilidad de los suelos.

FUNCIONES DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LOS PROCESOS DEL SUELO

La fracción microbiológica de los suelos es una comunidad diversa y dinámica, clave en el funcionamiento de los ecosistemas. La importancia de los fenómenos biológicos del suelo, reside en la cantidad de funciones esenciales que los microorganismos desarrollan. Así los microorganismos del suelo intervienen en los ciclos geoquímicos de los elementos minerales (C, N, P, etc.), contribuyen al reciclaje y mineralización de nutrientes, estabilizan los agregados minerales reduciendo el impacto de la erosión y participan activamente en la descomposición de la materia orgánica y la posterior síntesis del humus, en definitiva, son los responsables de la fertilidad de los suelos tanto en ecosistemas naturales como agrícolas.

Puesto que los microorganismos edáficos se nutren de materia orgánica (restos orgánicos, exudados radiculares...) y pueden ser dianas indirectas de fitosanitarios, en términos generales, cualquier práctica o sistema de manejo que implique la nutrición y saneamiento del suelo puede incidir en su estado. Por otra parte, y como ya se ha comentado anteriormente, la fracción biológica de los suelos agrícolas está siendo considerada como uno de los pilares de la fertilidad, la denominada **fertilidad biológica** que determina la reserva orgánica, así como la abundancia y actividad de la biomasa del suelo. Sin embargo, los componentes biológicos (los últimos que se han tomado en cuenta en investigación y producción de cultivos), no sólo tienen un papel clave en la fertilidad del suelo, sino en la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas a largo plazo.

Los diferentes grupos microbianos llevan a cabo funciones esenciales para el mantenimiento de la fertilidad. Ahora bien, la biología de cada uno de ellos define su posición funcional en el ecosistema suelo.

El recuento de la **flora fúngica** refleja la población potencial de hongos, en especial aquellos que ocupan diferentes nichos en forma saprofítica. La función básica es la descomposición y mineralización de residuos orgánicos frescos. Actúan como descomponedores primarios al estar dotados de un gran número de enzimas que destruyen compuestos carbonados complejos y liberan en el medio, proteínas o reguladores de crecimiento. La actividad fúngica se favorece con un pH ligeramente ácido, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de elementos esenciales. La presencia de organismos antagónicos o sustancias contaminantes puede afectarles. La cuantificación de hongos micorrícicos revela la abundancia de un grupo fúngico de amplia distribución que mantiene relaciones estrechas con las raíces facilitando la absorción de nutrientes o reduciendo el impacto de factores negativos (estrés hídrico o enfermedades) sobre el desarrollo vegetal.

Las **poblaciones bacterianas** intervienen en los procesos de descomposición, si bien su actividad enzimática es más limitada que la de los hongos. El número de bacterias guarda estrecha relación con propiedades como aireación, porosidad o retención de la humedad, pues su actividad se beneficia con una buena disponibilidad de oxígeno, especialmente en suelos poco compactados y sin excesos de agua. Los valores de pH cercanos a la neutralidad o ligeramente básicos, altos contenidos en materia orgánica fácilmente mineralizable y alta disponibilidad de elementos como nitrógeno, calcio y magnesio, favorecen la proliferación de grupos bacterianos. Algunos grupos concretos como *Pseudomonas fluorescens*, tienden a desarrollarse en los entornos cercanos a la raíz liberando reguladores de crecimiento vegetal o compitiendo con organismos fitoparásitos.

Los **actinomicetos** constituyen un grupo edáfico con características funcionales particulares, que prefieren ambientes ligera-

mente básicos y bien oxigenados. Además de ser capaces de degradar materia orgánica recalcitrante (rica en lignina y celulosa) e intervenir en los procesos de humificación, secretan sustancias antibióticas que afectan al equilibrio microbiano del suelo.

La actividad microbiana del suelo puede ser estimada indirectamente mediante parámetros como la **respiración basal**. Consiste en determinar la concentración de CO₂ desprendido por incubación estática en el laboratorio. El flujo de CO₂ teóricamente representa una medición integrada de la respiración de las raíces, la fauna del suelo y la mineralización del carbono desde las diferentes fracciones de la materia orgánica.

Existen otras **estimaciones indirectas** (actividades enzimáticas) de la vida microbiana del suelo. La catalasa es una de ellas. Esta enzima detoxificante, presente en las bacterias aerobias, en la mayoría de anaerobias facultativas y ausente en las anaerobias obligadas, puede determinarse en el laboratorio mediante incubación del suelo con H₂O₂.

IMPACTO DE LOS MANEJOS AGRÍCOLAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE MICROORGANISMOS DEL SUELO

Las diferentes estrategias de manejo producen diferentes tipos de perturbaciones que pueden influir a las comunidades microbianas de varias formas. Así, por ejemplo la labranza del suelo, causa roturas físicas del micelio fúngico y puede cambiar las propiedades físico-químicas del suelo. Otro manejo que en determinadas circunstancias puede ser perjudicial es la rotación de cultivos que podría causar perturbaciones temporales en la presencia de las raíces de determinadas especies de plantas.

El objetivo principal de estas estrategias es alterar las poblaciones de patógenos, pero pueden también afectar la disponibilidad de especies compatibles necesarias para garantizar la pervivencia de las poblaciones de hongos micorrícicos y su flora rizosférica asociada. La fertilización y la aplicación de pesticidas representan alteraciones químicas y sus efectos dependen de las dosis y de las especies presentes en el suelo.

Reducir la labranza ha sido muchas veces usado para conservar el agua en el suelo, o para disminuir la erosión y la compactación. Está demostrado que esta reducción puede incrementar la absorción de P por los cultivos, especialmente en sistemas con bajas aplicaciones de fertilizante. Además de esto hay que considerar que la mezcla de diferentes horizontes del suelo puede generar efectos negativos sobre la colonización micorrízica debido a la rotura del micelio extramatricial, así como daños en los sistemas hifales de otros hongos no formadores de esta simbiosis. Por otra parte, y en lado opuesto, la excesiva compactación del suelo puede reducir la biomasa microbiana y la actividad enzimática con implicaciones negativas para la salud del suelo a largo plazo.

Una reducción en la frecuencia de la labranza o simplemente no labrar, tiende a concentrar los restos vegetales y por lo tanto incrementa la actividad microbiana en los horizontes más superficiales del suelo. Esto supone una mejora de las condiciones energéticas para todo tipo de microorganismos edáficos, incluidos los patógenos. Si consideramos que estos microorganismos solo constituyen una parte proporcional de la población total del suelo, entenderemos que una mayor actividad microbiológica puede favorecer fenómenos de competición que disminuyen la actividad y la supervivencia de los patógenos.

LOS HONGOS MICORRIZICOS Y LAS PRÁCTICAS CULTURALES

Como es sabido, los hongos micorrízicos son un componente clave de la vida rizosférica. Estos hongos del suelo de naturaleza simbiótica, pueden mejorar el estatus nutricional de las plantas cuyos sistemas radicales colonizan, formando las llamadas micorrizas. Además protegen a sus hospedadores contra estreses de tipo biótico o abiótico, incrementan la capacidad de absorción de sus raíces y aumentan la zona de interacción de las plantas con otros microorganismos rizosféricos.

En general, las prácticas culturales tienen un fuerte impacto sobre los hongos micorrízicos. Este efecto puede ser directo,

dañando el micelio externo y por lo tanto el ciclo de vida del hongo, o indirecto modificando las condiciones del suelo, esenciales para su supervivencia y desarrollo.

La mayor consecuencia de un manejo convencional de los cultivos sobre las poblaciones de hongos MA (micorrizas arbusculares) se traduce en una reducción de su biodiversidad. Para ilustrar esto podemos decir que en un sistema agrícola convencional, suelen aparecer menos de 10 especies diferentes de hongos MA, frente a las más de 20 que se encuentran en las praderas. Muchos estudios han demostrado que las prácticas agrícolas intensivas decrecen la efectividad y la abundancia y diversidad de estas poblaciones mediante la selección fúngica de poblaciones.

Hay muy pocos estudios que investiguen los efectos a largo plazo de los manejos del suelo sobre la evolución de las poblaciones de microorganismos, pero los datos disponibles apuntan a una mayor presencia de hongos micorrícicos en plantas de suelos con bajos niveles de fertilización y poca o nula labranza. Estos suelos mostraron en general una mayor estabilidad de los agregados que se correlaciona positivamente con la biomasa microbiana presente.

Una revisión de los efectos de las diferentes prácticas agrícolas sobre las poblaciones de hongos micorrícicos reflejan las siguientes conclusiones que resumimos en el cuadro 1.

- Selección de plantas y cultivares micótrofos. Es obvio que una de las mejores formas de favorecer el desarrollo de hongos arbusculares en el suelo será implantar cultivos de alta compatibilidad o susceptibilidad. Dentro de una especie vegetal puede haber cultivares más susceptibles que otros. Generalmente, las plantas con alta demanda de fosfato (leguminosas) o pobre sistema radical (cebolla, papa) responden mejor a la micorrización.
- Rotación de cultivos. Esta práctica tiene efectos positivos sobre la colonización y esporulación de hongos arbusculares cuando las secuencias de cultivos incluyen plantas altamente

Cuadro 1. Manejos agrícolas y hongos MA (micorrizas arbusculares)

A FAVOR	EN CONTRA
Aportes de materia orgánica	Escasos aportes de materia orgánicas
Rotaciones (diversidad de especies)	Monocultivo o cultivo con plantas no hospedadoras
Uso racional de la fertilización abonados en forma de fosfatos poco solubles (fosfato de roca) Abonos de cobertera (leguminosas, aromáticas...)	Fertilización química excesiva
No labranza	Labranza intensiva
Utilización de semillas locales	Uso de semillas mejoradas genéticamente
Limitación en el uso de biocidas	Empleo indiscriminado de biocidas (fumigantes, fungicidas...)

micotróficas. Por el contrario, rotaciones o monocultivos con plantas no hospedadoras empobrecen la densidad de propágulos de estos hongos en un suelo.

- Asociación de cultivos. Combinaciones de leguminosas y gramíneas representan buenos ejemplos de cultivos múltiples o intercalados en los cuales la leguminosa aporta el nitrógeno al sistema, gracias a la intensa actividad de fijación bacteriana de ese elemento que se lleva a cabo en los nódulos de las raíces, en tanto que la gramínea, en base a su alta susceptibilidad a ser colonizada por los hongos arbusculares, favorece a las micorrizas. Otros tipos de cultivos múltiples, en los que no se incluyan leguminosas, también pueden resultar de valor en la conservación de poblaciones de hongos MA en los suelos. Es el caso de combinaciones entre plantas de alta micotrofia y aquellas a las cuales se asocian bacterias fijadoras de N_2 de vida libre, las cuales pueden estimular la infectividad y la formación de micorrizas efectivas.

- Uso de enmiendas orgánicas. La aplicación de enmiendas orgánicas es bien conocida como práctica estimuladora de la vida del suelo, aparte de su valor fertilizante. Es claro que la materia orgánica sirve de sustrato para el crecimiento de una rica comunidad de microorganismos del suelo favoreciendo los procesos tróficos de transferencia de nutrientes y, por tanto, estimulando el desarrollo de las plantas.
- Fertilización fosforada controlada. El uso de roca fosfórica como sustituto de los fertilizantes fosforados solubles resulta de gran interés, ya que es bien conocido que niveles altos de fósforo soluble son negativos para la formación y efectividad de las micorrizas. En general, la aplicación de fuentes poco solubles de este macronutriente resulta coherente con un manejo sostenible del suelo, puesto que garantiza una liberación paulatina y no contaminante del elemento en formas asimilables por las plantas.
- Introducción de cepas de hongos seleccionados en el suelo. Las diferentes especies de hongos e incluso sus cepas muestran distintos grados de efectividad para mejorar el crecimiento de las plantas. También muestran diferentes tolerancias a los fitofármacos (herbicidas, nematicidas, etc.) y prácticas de fertilización propias de la agricultura actual. Cuando en un suelo la población natural de hongos arbusculares haya sido eliminada o la que exista sea poco efectiva, puede ser aconsejable “importar” un hongo seleccionado. Algunos investigadores han testado los efectos simbióticos de inóculos de poblaciones de hongos MA procedentes de agrosistemas y pastizales con manejos orgánicos o convencionales y concluyeron que los hongos procedentes de sistemas ecológicos eran más efectivos en la promoción del desarrollo de las plantas.
- Mantenimiento de temperatura y humedad del suelo en niveles correctos. Se ha puesto de manifiesto que el porcentaje de infección aumenta al incrementarse la temperatura hasta alcanzar un máximo a los 30 °C. A partir de esta temperatura la infección decrece, y por encima de 40 °C se produce la inhibición completa de la germinación de esporas de ciertos

hongos arbusculares. Con respecto a la humedad, se consideran adecuadas para el desarrollo de las micorrizas las óptimas para las plantas, si bien se sabe que un ligero estrés hídrico aumenta la esporulación del hongo, factor de interés para, por ejemplo: introducir un cultivo como inoculante de suelo.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Lowenfels, J. & Wayne, I. 2010. *Teaming with Microbes. The Organic Gardener's Guide to the Soil Food Web*. Timber Press. Oregon-London. 220 pp. ISBN-13: 978-1-60469-113-9.
- Ingham, E. (1996). *The Soil Foodweb: It's Importance in Ecosystem Health*. Oregon. State University. (Retrieved April. 30, 2003). Retrieved from Internet site: <http://www.rain.org/~sals/ingham.html>

5

LA FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS BAJO UNA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

Francisco Martínez Rodríguez - Luis Gómez Jorrín

*Instituto de Suelos, MINAG, La Habana, Cuba
Avenida costa- costa km 8 ½ Capdevila, Boyeros,
La Habana Apartado 8022,
Email: floralbacg@infomed.sld.cu, (537) 6980036*

RESUMEN

El desarrollo de la agricultura convencional ha causado grandes inconvenientes entre los que se destacan la contaminación ambiental y el encarecimiento de los procesos agrícolas. Si bien es cierto que a la agricultura orgánica sustentable hasta ahora no se le había dado la importancia que requiere, ya hoy es imposible continuar produciendo con los elevados costos económicos, sociales y ambientales alcanzados con la agricultura convencional. En el trabajo se analiza, a partir de la importancia de la nutrición mineral de los cultivos, las principales estrategias utilizadas por los productores cubanos para resolver los problemas derivados del déficit de los fertilizantes minerales que se produce por una parte, por los efectos de contaminación que provoca su uso indiscriminado y por otra las dificultades económicas enfrentadas por el país producto de la caída del campo socialista. Se proporcionan experiencias sobre las gestiones de nutrientes realizadas en la agricultura cubana bajo los principios de la agricultura ecológica y sus principales resultados, destacándose los altos niveles de producción y uso de los abonos orgánicos y biofertilizantes logrados, los que han permitido mantener en condiciones aceptables la fertilidad de los suelos, con producciones con mayor calidad y una incidencia directa sobre la economía de los productores y sobre el medio ambiente, por ser significativa la cantidad de residuales contaminantes convertidos en recursos útiles para la agricultura y para el mejoramiento y conservación de los suelos para las generaciones futuras.

INTRODUCCIÓN

A partir de las investigaciones promovidas por la Academia de Ciencias de Gottingen en el siglo XIX y los trabajos de Sacha y Knopp, los que utilizaron la hidroponía y la prueba de los elementos faltantes y comprobaron la importancia y esencia de los elementos procedentes del aire, agua y suelo (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu, B, Mo, CO, Mn, Zn), su función y las alteraciones que se producen en las plantas por sus deficiencias, se logra demostrar que son vitales para las plantas y que tienen que ser absorbidos por esta desde el medio exterior (Kolmans & Vasquez 1995).

La mayoría de los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo son absorbidos por las raíces directamente desde la solución de suelos (fracción del agua presente en el suelo que está disponible para ser absorbidas por las raíces y que contiene disueltos los elementos en formas asimilables); con excepción del C, O, H, que las plantas toman directamente del aire y del agua y que suponen el 90% del peso seco de las mismas. De esta forma para el C, O y N la atmósfera funciona como reservorio principal, mientras que para el resto de los elementos es el suelo.

Tres nutrientes se reconocen desde el punto de vista cuantitativo como principales, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), seguidos por azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) como elementos secundarios y otro grupo de los cuales las plantas necesitan solo pequeñas cantidades y son conocidos como oligoelementos, hierro (Fe), cinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Co), boro (Bo), Molibdeno (Mo) (Bonilla, 1992). La influencia de estos nutrientes sobre la plantas no pueden evaluarse de forma aislada, sino en su relación con los demás, siendo fundamental el conocimiento de sus funciones en relación con el metabolismo vegetal. En tal sentido, González (2003) resume dichos conocimientos como se presenta a continuación:

Nitrógeno: es fundamental para el crecimiento vegetativo e imprescindible en el proceso de formación de proteínas. Su deficiencia provoca bajos rendimientos, madurez prematura,

hojas de colores verde claro o amarillentos. Un exceso del mismo se traduce en menor resistencia a las plagas y enfermedades, vuelco de la planta y retardo en la maduración.

Fósforo: desempeña un papel principal en la división celular, y es parte elemental en compuestos proteicos de alta valencia, influye en la formación de raíces y semillas, siendo un regulador principal de todos los ciclos vitales. Su carencia se manifiesta por un retraso en la floración y baja producción de frutos y semillas. Un exceso puede provocar la fijación del cinc en el suelo.

Potasio: interviene directamente en el proceso de división celular regulando las disponibilidades de azúcares, así como en los procesos de absorción de calcio, nitrógeno y sodio, su carencia se manifiesta en forma de necrosis en la punta y márgenes de las hojas más viejas, bajos rendimientos, poca estabilidad de la planta, mala calidad y altas pérdidas en el momento de la cosecha. En exceso bloquea la asimilación del magnesio y calcio.

Calcio: es parte fundamental de determinados compuestos y tiene un papel fundamental en la regulación del pH, fortalece las raíces y paredes celulares y regula la extracción de nutrientes.

Magnesio: constituyente de la clorofila, papel preponderante en la actividad de las enzimas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos. Su carencia se manifiesta en la planta por la presencia de hojas inferiores cloróticas, reduciendo la cosecha y el tamaño de los frutos. Un exceso produce carencia de calcio.

Azufre: indispensable en el proceso de formación de proteínas sobre todo en las leguminosas, sus síntomas carenciales en general no son visibles.

Hierro: constituye un importante catalizador para la fotosíntesis y la oxidación, participando en los procesos de formación de

hidratos de carbono y clorofila, su carencia provoca clorosis entre las nervaduras, principalmente en las hojas más jóvenes, reduce la velocidad de crecimiento y limita la fructificación, en exceso provoca manchas necróticas en las hojas.

Cobre: es un catalizador del metabolismo vegetal, así como un componente de enzimas fundamentales como la polifenol oxidasa. Cuando hay carencia de este elemento las hojas presentan un color verde oscuro y se enrollan, mientras que un exceso resulta toxico para la microflora del suelo y las raíces de las plantas y cuando está en cantidades superiores a 10 ppm, induce deficiencias de hierro.

Cinc: importante factor en la formación de auxinas, componente esencial de enzimas y coenzimas y su carencia produce clorosis, acortamiento de los entrenudos, disminución de la producción de semillas, su exceso trae consigo deficiencia de hierro.

Manganeso: es activador de muchas enzimas esenciales, su carencia provoca hojas cloróticas, con lesiones necróticas y mal formadas.

Boro: forma complejos con los azúcares, juega un papel importante en el transporte del mismo, su carencia provoca muerte en le región apical, las plantas presentan aspecto de arbusto con muchas ramificaciones, cuando hay frutos estos suelen estar mal formados. El exceso provoca clorosis y quemaduras.

Molibdeno: fundamental para la fijación del nitrógeno a través del *Rhizobium*. En carencia provoca clorosis que varía de color amarillo verdosa a naranja pálido, pudiendo presentar necrosis; la floración puede ser suprimidas y las legumbres suelen presentar síntomas de deficiencia de nitrógeno.

Para que el funcionamiento metabólico de las plantas sea adecuado y su desarrollo óptimo es necesario que los elementos nutritivos estén en equilibrio, interactuando en forma armónica,

un exceso o déficit proporciona plantas débiles, susceptibles a plagas y enfermedades, baja calidad alimentaria y cosechas de poca durabilidad. Según Gleissman (2001), la susceptibilidad a plagas y enfermedades no es solo por ausencia de enemigos naturales y del monocultivo, sino también de una mala nutrición.

ESTADO ACTUAL DE LOS NUTRIENTES EN LOS SUELOS CUBANOS

Los nutrientes en el suelo están sujetos a cambios constantes. Parte se pierden por lixiviación, escorrentía o por determinados procesos de transformación química, pero la mayores pérdidas se producen por la intervención del hombre, por la aplicación de sistemas de tratamientos irracionales en los suelos y sobre todo como consecuencia de la aplicación de la teoría de J. Von Liebig, la cual señala que la pérdida de nutrientes minerales en el suelo producida por las cosechas puede ser compensada por medio del abonamiento artificial con nutrientes minerales. En consecuencia, de acuerdo a lo referido por Kolmans & Vasquez 1995), se inicia así el uso de fertilizantes sintéticos, lo cual constituye uno de los principales pilares de la agricultura convencional.

En América Latina, es muy fuerte la presión sobre el recurso suelo, como consecuencia de su injusta distribución y el crecimiento poblacional acelerado, provocando su agotamiento o pérdida de su fertilidad natural. Con la introducción de la revolución verde en la región se pretendió dar solución a este problema, obviando por completo las reales causas y las particularidades sociales, económicas y ecológicas. Como consecuencia, si bien es cierto que al inicio resolvió el problema del aumento de los rendimientos y por ende la producción de alimentos, a la larga solo ha conducido a un agravamiento del problema (Treto *et al.*, 2001), pues ha provocado la degradación por pérdida de la fertilidad natural de los suelos en una gran parte de los ecosistemas terrestres.

Con el incremento de prácticas degradativas y extractivas en los países industrializados y el traslado de este razonamiento hacia la realidad distinta de América Latina, se creó la imagen de un falso

progreso, se consolidaron formas de agricultura intensivas en el uso de productos agroquímicos para la regeneración de la fertilidad y con ello, muchos agricultores han perdido toda la relación con el suelo y el respeto a los ciclos vitales de la materia orgánica y su relación con la fertilidad sostenida de los mismos, que son sobreexplotados y cada día se empobrecen y agotan más.

Hoy la ciencia moderna con conocimiento sobre la nutrición vegetal cuestiona la agricultura convencional por la aplicación indiscriminada de estos sistemas de tratamiento del suelo. El suministro desequilibrado de nutrientes como N, P, K, fuertemente promocionados como sustancias naturales por las multinacionales de productos agroquímicos y los servicios oficiales de extensión, deja de lado los oligoelementos y otras sustancias con la consiguiente alteración del suelo y de la vida de extensas áreas del planeta (González, 2003). Con ello no solo se han hecho dependientes de estos insumos a muchos productores en el mundo, sino se ha generado pobreza y éxodo del campo.

Cuba no ha sido una excepción, antes de 1492 toda el área estaba cubierta de bosques, los suelos eran vírgenes y las comunidades indígenas vivían en equilibrio con la naturaleza., a partir de esa fecha hay un período largo de cuatro siglos como colonia de España donde comienza a desarrollarse la agricultura; fundamentalmente la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Se inicia la tala de los bosques, la quema de los residuos y la degradación de los suelos hace su aparición.

Después se sucede un período de cincuenta y siete años donde pasa a ser neo colonia norteamericana. Este período fue decisivo en la depauperación acelerada de los suelos por varias razones. Si en cuatro siglos de colonización española había desaparecido la mitad de los bosques, en apenas cincuenta años solo quedaron el 14% de ellos (Instituto de Suelos, 2009).

Esta situación se agrava al surgir los grandes latifundios dedicados la mayoría, al cultivo de la caña de azúcar. Se entroniza así el monocultivo y su acción degradante del suelo. Además de lo anterior, en esta etapa no existió la voluntad política para frenar estos fenómenos negativos.

Al triunfo de la revolución de inmediato se comienza una labor de concientización de los decisores y productores, sobre la necesidad de protección de los recursos naturales, no obstante los latifundios se nacionalizaron pero se crearon las grandes empresas estatales socialistas. Estas, como modelo de desarrollo “moderno” tuvieron como características la introducción de gran cantidad de maquinarias pesadas, equipos de riego, alta aplicación de productos químicos, persistencia del monocultivo y otras prácticas degradantes (uso excesivo de agrotóxicos 1 300 000 toneladas de fertilizantes y más de 80 millones de dólares en plaguicidas, importación de 600 000 toneladas de concentrados, disponibilidad de más de 90 000 tractores y un poderoso parque de maquinaria pesada).

No obstante, al mismo tiempo se desarrollaron investigaciones que se dedicaron al estudio de los suelos y de las medidas para la conservación y mejoramiento de su fertilidad natural. Mediante estas investigaciones, se pudo demostrar, que cuando se utilizan sistemas de tratamiento en los suelos, ya sean químicos o mecánicos, con el fin solo de producir y elevar los rendimientos de las cosechas, se producen cambios sustanciales en las condiciones de vida de la microflora edáfica, lo que se ha traducido en una destrucción de las asociaciones microbianas y cambios de su actividad funcional y bioquímica. El fenómeno que resulta de estas alteraciones ecológicas, es la degradación paulatina de la fertilidad de los suelos debido fundamentalmente a la pérdida de la materia orgánica (en cantidad y calidad), la obtención de productos cada vez con menor calidad para su consumo y la contaminación del ambiente, lo cual demuestra la necesidad de tomar acciones urgentes para detener el proceso de degradación de los suelos y comenzar a introducir métodos de mejoramientos en ellos (Tuev 1986; Ponce de León 2003; Martínez *et al.*, 2001). Además, el uso indiscriminado de estas prácticas, según han señalado Calero *et al.*, (2001), produce tal disminución de las reservas orgánicas de los suelos, que estas no bastan para el total de la microflora, lo que provoca, que al utilizar fuentes orgánicas no estabilizadas en ellos, se altera el equilibrio y rápidamente combustiona la casi totalidad de la fuente.

El uso reiterado e indiscriminado de estas prácticas han provocado que un 60% de los suelos cubanos tengan contenidos de materia orgánica de bajo a muy bajo (Instituto de Suelos 2009). En el cuadro 1 se comparan los primeros valores de materia orgánica en los suelos cubanos obtenidos por los investigadores Bennett y Allison entre 1920 y 1927 (una etapa donde la explotación agrícola de nuestros suelos era mucho menos intensa), con los valores obtenidos 50 años después.

Cuadro 1. Manejos agrícolas y hongos MA (micorrizas arbusculares)

GRUPO DE SUELOS	AÑO 1926		AÑO 1975	
	Bennett y Allison		Mapa básico 1:50 000	
	valor medio	rango	valor medio	rango
I. Arenosos	2,80	2,18 – 3,54	2,00	0,99 – 3,19
II. Latosolizados	4,70	3,16 – 7,35	2,73	1,63 – 3,78
IV. Calcáreos	7,41	5,78 – 9,62	3,34	2,34 – 4,34
V. Montmorilloníticos	4,76	2,90 – 6,72	2,72	1,98 – 3,86

Los altos niveles de agrotecnologías aplicados a partir de entonces, han agravado la situación agroproductiva de nuestros suelos, la cual determinada tomando como referencia 10 cultivos principales que reúnen un amplio diapasón de requerimientos edafológicos, entre ellos su fertilidad natural, en ella el 67% de los suelos se agrupan en la categoría III y IV (medianamente productivo y poco productivo respectivamente) (Base de datos del mapa nacional de los suelos publicado a escala 1: 25000).

Entre las acciones más importantes consideradas para evitar el proceso de degradación, en la pérdida de fertilidad natural del suelo y su recuperación, ha tenido una importancia capital la aplicación de principios agroecológicos en los sistemas de tratamiento de los suelos y en la nutrición de los cultivos. Entre estas, podemos citar: aplicando reglas para la fertilización agroecológica enunciadas por González & Pomares (2008); incorporación de materiales orgánicos formadores de humus, evitando pérdidas de nutrientes por lavado, cultivo de abonos verdes y asociación de cultivos con

leguminosas, incorporación de los residuos animales y vegetales, mantener el suelo cubierto de vegetación el mayor tiempo posible, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel alto de productividad (Soto & Martínez 2011). En este tipo de agricultura, como ha enunciado Altieri (1997), debe ponerse énfasis en la sustentabilidad ecológica a largo plazo más que en la productividad a corto plazo.

GESTIÓN DE NUTRIENTES EN LA AGRICULTURA CUBANA

La aplicación de abonos orgánicos constituye una práctica tan vieja como la agricultura y existen elementos para confirmar que antes de que se conocieran los fertilizantes minerales, en los mecanismos de la nutrición de las plantas, ya se practicaba la mejora de los suelos con abonos orgánicos, especialmente el compost. En Cuba se utilizan de forma generalizada el “Método Indore” (aeróbico) cuyo nombre es en homenaje a un pueblo en la India, donde fue practicado por primera vez por Sr. Albert Howard, agrónomo del gobierno inglés quien estuvo en ese país entre 1905 y 1934. Lo realizó para atender la necesidad de mejoramiento de los suelos y de los cultivos en la región. Los sistemas más utilizados son el compostaje en pilas y el compostaje de corral (Peña 2002). La lombricultura es más reciente, se introduce en el país a partir de la década de los 80.

Estas tecnologías de tratamiento de los residuales sólidos orgánicos han pasado por varios momentos, matizados por la profundización en las investigaciones, la construcción de grandes unidades de producción, una fuerte capacitación de los productores y otros factores que determinaron su avance y generalización.

Los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas, no solo contribuyeron a aumentar el conocimiento teórico práctico que se tiene sobre las características de los abonos orgánicos y sus relaciones con el suelo, los fertilizantes minerales y las plantas, sino también, brindan un impacto muy positivo en la economía del país a través de modificaciones muy beneficiosas en el sistema de producción agropecuario (Gandarilla *et al.*, 2001).

El momento de mayor auge en el impulso a la introducción de las tecnologías de producción de abonos orgánicos en el escenario productivo cubano se produce a partir de las dificultades económicas que presenta el país como consecuencia de la desaparición del campo socialista y la pérdida de más del 70% del comercio. Estas dificultades se manifestaron de inmediato en la pérdida de la capacidad de compra de fertilizantes minerales y piensos para la alimentación animal, por lo que se acelera la introducción de las alternativas orgánicas y biológicas para mantener los rendimientos de los cultivos y la fertilidad de los suelos a niveles satisfactorios, especialmente en las áreas de cultivos varios donde, producto de la situación anterior, en un 90% de las mismas, actualmente no se utilizan fertilizantes minerales (Instituto de Suelos 2009).

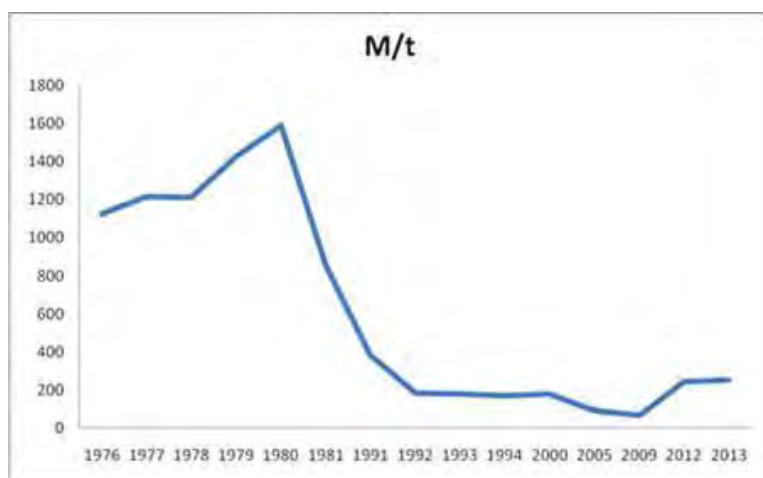


Figura 1. Consumo histórico de fertilizantes minerales en áreas agrícolas no cañera (miles de toneladas) (Instituto de Suelos 2013)

Esta situación, provocó la necesidad de replantear la estrategia para la producción de abonos orgánicos, dando paso a la pequeña producción en todas las unidades agropecuarias. Gran impulso a este propósito se dio con la implementación primero del Subprograma de Abonos Orgánicos en el marco del Programa Nacional de la Agricultura Urbana y del Programa Nacional Emergente de Producción de Abonos orgánicos y Biofertilizantes,

mediante los cuales se ha logrado la capacitación y concientización de los productores y decisores en cuanto a la producción y uso de los fertilizantes orgánicos en todos los escenarios productivos. Como resultado de este trabajo se ha logrado un alto nivel de generalización, obteniéndose una significativa recuperación de la producción de humus de lombriz y compost concretándose producciones anuales de más de 6 y 17 millones de toneladas respectivamente (figuras 2 y 3), lo que fue posible, entre otras razones, por la diversificación de los residuales empleados como materia prima para la producción. (Martínez *et al.*, 2001).

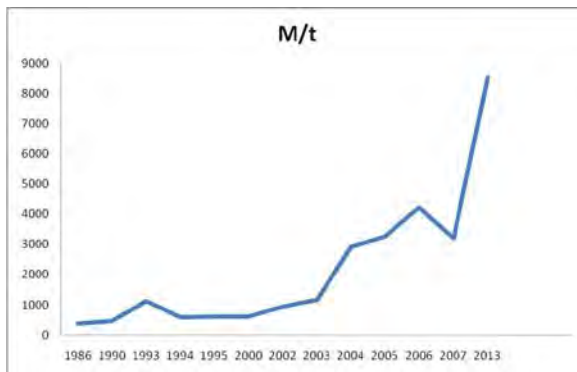


Figura 2. Aplicación de abonos orgánicos en el área de cultivos varios (miles de toneladas)
Instituto de Suelos (2013)



Figura 3. Producción y utilización de abonos orgánicos

Esta acción fue apoyada por los resultados de las investigaciones realizadas que permitieron conocer las dosis de aplicación de estos productos para 16 cultivos de importancia económica en el país y los 12 tipos de suelos más importantes por su extensión y peso en la producción de alimentos, a continuación un resumen (Gandarilla *et al.*, 2001) (cuadro 2).

Cuadro 2. Dosis de humus de lombriz para algunos suelos y cultivos de importancia de Cuba (Gandarilla *et al.*, 1995)

Suelos	Cultivos	Dosis de Humus de lombriz y FM	Beneficios
Acrisol Cambisol Nitisol Fluvisol Ferrasol Vertisol Gleysol	Tabaco Papa Tomate Ajo Cebolla Pimiento Arroz Boniato Pastos	De 2 tn.ha ⁻¹ a 8 tnha ⁻¹ más un 25 - 75% de FM	Menores FM Mayores Rdtos Menores FO

Leyenda: FM: fertilizante mineral; Rdto: rendimiento; FO: compost y otras fuentes orgánicas

También se ha realizado un esfuerzo especial en las investigaciones sobre la producción y uso de los biofertilizantes, los cuales se pueden definir como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes como fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potenciadoras de nutrientes o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas, al suelo o a las hojas con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos (Martínez-Viera & Dibut 2004), de tal forma, se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hacen más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos.

La utilización de los inoculantes microbianos en Cuba no es una consecuencia del llamado Período Especial, sino el resultado de

un largo proceso de investigaciones y la incorporación progresiva de distintas instituciones, con el convencimiento pleno de la gran utilidad que podía recibir el país mediante la manipulación de los microorganismos del suelo, después de profundos estudios encaminados a obtener los conocimientos básicos sobre la microflora de los suelos cubanos y con el objetivo básico en un principio de sustituir fertilizantes minerales de importación, alcanzando altos rendimientos agrícolas sin la afectación del medio ambiente (Martínez-Viera 1998). Se ha demostrado que el empleo de la inoculación con microorganismos benéficos en los cultivos permite ahorrar fertilizantes químicos a niveles que oscilan entre un 25 y un 50%, además que, con el uso de esta tecnología se realiza una importante contribución a la protección del medio ambiente, el establecimiento de los cultivos, protegiéndolos contra el estrés y se incrementan los rendimientos agrícolas entre un 10 y un 20% (Gómez y Martínez-Viera 2014).

Estos mismos autores señalan que en el país se han desarrollado 22 productos biofertilizantes de uso agrícola (Biofer®, Azofert, Nitrofix, Fosforina, Fosforina plus a, Fosforina plus R, EcoMic®, LicoMic, Pectimorf, Quitosanas Azomeg, Biofosol-h, Biofosol-b, Dimabac, Acestim, Dimazos, Biobac, MicoFert, Rhtp1, 2, 3 y 4). Seis de ellos, según reconoce la Comisión de Productos Priorizados de la Biotecnología Agrícola, que preside el Ministerio de la Agricultura (MINAG), son los que han tenido un mayor impacto en la producción alimentaria: Biofer®, Azofert, Nitrofix, Fosforina, Dimargon y EcoMic® (cuadro 3), en relación con la demanda por parte de los productores, su nivel de acabado y la sustitución de fertilizantes químicos que permite su utilización.

Desde el 2002, se organizó el Programa Nacional de Producción de Abonos Orgánicos y Biofertilizantes (PNAO y B) a fin de apoyar y sustentar el desarrollo de la agricultura y otros sistemas alimentarios, mediante la producción de biofertilizantes, produciéndose 140 t, ello conllevó a que el área de aplicación de los bioproductos se incrementara considerablemente hasta cubrir más de 100 000 ha en una campaña agrícola (Instituto de Suelos 2012).

Cuadro 3. Productos biofertilizantes definidos como priorizados en el 2009 por la Comisión de Biotecnología Agrícola (MINAG 2010)

Productos	Principios activos	Sustitución de nutrientes
Fosforina	<i>Pseudomonas</i> , amplia gama de cultivos (raíces y tubérculos, hortalizas, leguminosas, gramíneas, entre otros).	Solubiliza P del suelo. Sustituye 30 - 50% la fertilización fosfórica, Estimula crecimiento y Protege contra patógenos. Incrementa los rendimientos entre un 10 y 20%. El producto se presenta sólido o líquido
Dimargon	<i>Azotobacter</i> , amplia gama de cultivos	Aporta N de forma simbiótica. Estimula el crecimiento vegetal. Sustituye 35% de la fertilización nitrogenada. Incrementa los rendimientos entre un 10 y 20%
Ecomic	Hongo Micorrizógeno se aplica en una amplia gama de cultivos	Incrementa la eficiencia en la toma de nutrientes y el agua en los cultivos. Sustituye N, P y K hasta en un 30%, confiere resistencia a estrés y ataques de patógenos. Incrementa los rendimientos entre un 15 y un 30%
Biofer	Bacterias del genero <i>Rhizobium</i> . Se aplica en leguminosas (frijol común, capí, garbanzo, frijolitos chinos, maní y habichuela)	Aporta N de forma simbiótica. Sustituye 30- 50 % de los fertilizantes nitrogenados. Incrementa en un 20% el rendimiento de los cultivos
Azofert	Bacterias del genero <i>Bradyrhizobium</i> y <i>Rhizobium</i> . Se utiliza en el cultivo de soya y leguminosas forrajeras	Aporta N de forma simbiótica. Sustituye 70% del nitrógeno mineral y aumenta el rendimiento en grano en un 20%
Nitrofix	Bacterias del genero <i>Azospirillum</i> sp. (Caña de azúcar y otras gramíneas	Aporta N de forma simbiótica. Sustituye el 60% del nitrógeno mineral. Estimula el crecimiento vegetal. Incrementa el rendimiento agrícola entre un 10 y un 20%

El porvenir de los biofertilizantes microbianos está dado por la obtención de productos multipropósito que, al ser aplicados en condiciones de producción agrícola, benefician a los cultivos con el suministro efectivo de nitrógeno procedente de la fijación atmosférica, de fósforo solubilizado a partir de las reservas de fósforo insoluble del suelo y/o de sustancias activas sintetizadas por los distintos microorganismos inoculados. En Cuba se han desarrollado productos a base de *Azotobacter chroococcum* y *Pseudomona fluorescens* (fosforina plus A) y *Rhizobium* sp. y *Pseudomona fluorescens* (fosforina plus R) así como a base de *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasiliense* y **Azotobacter. chroococcum** y *Bacillus subtilis* (MINAG 2010). Todos estos biofertilizantes han demostrado una alta efectividad y se están aplicando en condiciones de producción, pero cada bacteria debe producirse separadamente, lo cual encarece la fabricación del bioproducto mixto (Gómez y Martinez-Viera, 2014).

También se emplean los estimuladores del crecimiento vegetal, entre los que se encuentran el Fitomas-E que es un producto conformado por un formulado acuoso, que contiene básicamente aminoácidos, oligosacaridos y bases nitrogenadas. Estimula la nutrición y el crecimiento, la fructificación y el crecimiento radical, por lo que puede incrementar los rendimientos hasta un 30% en los cultivos de viandas, raíces y tubérculos, plátano, hortalizas, leguminosas, arroz, caña de azúcar y otros. y el Biobras-16, que tiene como principio activo un análogo de brasinoesteroide, estimula el crecimiento vegetal y aumenta los rendimientos entre un 10 y un 25% en una amplia gama de cultivos.

En la actualidad el país tiene perspectivas de potenciar la producción de estos bioproductos, de acuerdo a las demandas actuales, este interés esta protegido por proyectos con financiamiento gubernamental, dado el positivo impacto que ha tenido el uso de los mismos.

Otra alternativa utilizada para mejorar la fertilidad de los suelos es el uso de los abonos verdes, que son aquellas plantas que en su estado o fase vegetativa protegen los suelos y que al mismo tiempo al incorporarlas a la masa del mismo, mejoran sus condiciones

físicas, químicas, biológicas y su fertilidad, favoreciendo el desarrollo de los cultivos. Esta práctica tiene muchas bondades sin embargo posee una gran desventaja relacionada con el aspecto económico, puesto que es difícil para un agricultor, concebir la siembra de un cultivo sin la obtención de ganancias económicas, es por eso que los agricultores tradicionalmente buscan la forma de obtener algún beneficio directo con la siembra, a la vez que mejoran las condiciones de los suelos, por eso en general lo utilizan como cultivo asociado.

En tal sentido, Bolaños (1995), señaló que las leguminosas de cobertura como abono verde tienen un efecto beneficioso en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La leguminosa puede ser intercalada en relevo y/o en rotación, según los patrones de uso y predominantes del sistema. Los beneficios de asocio de leguminosas con cereales incluyen: aportación de N por fijación directa, aprovechamiento de la radiación desaprovechada por el cultivo principal para la producción de la biomasa para el abono verde, reducción de la erosión al mantener una mayor cobertura del suelo, reducción de la incidencia de malezas, preservación y mejora de las propiedades físico-químicas de los suelos y posible reducción de plagas y enfermedades.

En Cuba el principal cereal utilizado en asocio con leguminosa es el maíz. El campesino ha logrado una combinación exitosa variando el marco de siembra. No obstante no es recomendable una receta para este principio, lo importante es tener en cuenta las interacciones de los cultivos comprometidos en el asocio, en este caso tener definido el objetivo de la siembra de maíz en el aspecto de su consumo, ya sea en estado tierno o seco y la determinación del tiempo que corresponde al cultivo en asocio dentro de la secuencia anual, (Aguilar y Riverol 2011). En el cuadro 4, se brindan algunos resultados en este sentido.

Otras alternativas han consistido en el uso de la roca fosfórica de la cual se cuenta en el país con importantes reservas y los productos confeccionados con esta han probado su efectividad incluso en suelos de pH neutral y el uso de la zeolita, que también cuenta con importantes reservas de muy buena calidad que se

Cuadro 4. Estudio de diferentes arreglos espaciales para al establecimiento de los socios maíz-leguminosa (Aguilar y Riverol 2011)

Variante	Leguminosa	Nutrientes		
		N	P	K
3 S de M + 1 S de L	<i>Stizolobium</i>	80,9	9,5	53
	<i>Canavalia</i>	120,7	13,4	62,8
	<i>Crotalaria</i>	135,3	12,4	82,9
	<i>Dolichos</i>	73,6	9,2	42
2 S de Maíz + 1 S de L	<i>Stizolobium</i>	132,3	9,9	66,8
	<i>Canavalia</i>	167,6	13,1	66,9
	<i>Crotalaria</i>	196,3	12,1	81,8
	<i>Dolichos</i>	129,4	54,9	72,3
1 S de M + 1 S de L	<i>Stizolobium</i>	101,3	10,7	45,1
	<i>Canavalia</i>	113,7	10,6	54,6
	<i>Crotalaria</i>	109,1	14,3	125,9
	<i>Dolichos</i>	84,1	8,3	74,3

Leyenda: S: surco; M: maíz; L: leguminosa

emplean sobre todo para elevar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados y para el mejoramiento de las propiedades físicas de algunos suelos (Fuentes y Martínez 2011).

Cada vez son más las investigaciones que confirman que las diversas experiencias de agricultura ecológica, son una alternativa viable al alto uso de insumos externos como productos agroquímicos y mecanización. Estas exhiben además, resultados muy positivos en cuanto a su productividad, beneficios sociales y ambientales, en tal sentido Kolmans y Vasquez (1995), plantearon que la agricultura ecológica no es un regreso a la práctica tecnológica de baja eficiencia, pues cuando es aplicada de forma ecológicamente equilibrada, económicamente viable, culturalmente diversa y socialmente justa se corresponde plenamente al criterio de sostenibilidad.

La experiencia cubana en todos estos años ha demostrado que para las condiciones actuales de Cuba (y en general de

Latinoamérica) una agricultura ecológica y sostenible, solo puede ser obtenida mediante el manejo integrado de los fertilizantes minerales y de sus alternativas. Al respecto Muñiz, (2004) señaló que el enfoque del Manejo Integrado de la Nutrición de los cultivos se fundamenta en la diversificación de la producción agrícola en un área determinada, la cual permite durante la sucesión (rotación) de los cultivos, el manejo de las diferentes fuentes de nutrientes (los fertilizantes minerales y sus alternativas: abonos orgánicos, abonos verdes, el reciclaje de los residuos de cosecha, biofertilizantes, etc.) con el fin de optimizar la eficiencia en el suministro de los nutrientes a los diferentes cultivos y a la vez, preservar el suelo que es nuestro principal recurso natural, para las generaciones futuras.

REFERENCIAS

- Aguilar Y, Riverol M. 2011. Manual para el manejo del abono verde en suelos dedicados a Cultivos Varios. CIGEA, La Habana Cuba.pp29 ISBN: 978-959-287-026-0.
- Altieri MA. 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sostenible. Ed. CLADES: 249 pp.
- Bolaños J. 1995. Productividad con conservación. Estrategia para la productividad sostenible de maíz en laderas. En memoria Taller de productividad y conservación de los recursos en la agricultura de Ladera. San Salvador. Centro Internacional de Mejoramiento Maíz y Trigo. IICA. 94 pp
- Bonilla JA. 1992. Fundamento da Agricultura ecológica. Supervivencia y qualidade de vida. Ed. Novel, Sao Paolo
- Calero B, Morales A, Font L, Alfonso CA. 2001. Estado microbiológico de un Ferralsol sometido a diferentes sistemas de manejo agrícola. Boletín No.4 SCCS. ISSN 1609-1876.Publicación electrónica.
- CITMA. 1998. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequia en la República de Cuba. CITMA, La Habana. Cuba. 60 pp.
- Fuentes, A y Martínez F. 2011. Indicaciones prácticas para la conservación, mejoramiento y fertilidad de suelos. Editorial Pueblo y Revolución, La Habana Cuba. ISBN 978-959-13-2409-2: 180 pp.
- Gandarilla, J, Martínez F, Calero B. 2001. Lombricultura. Uso y manejo del humus. Boletín Resumen II Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental, 150 pp. Publicación electrónica.

- Gleissman SL. 2001. Agroecología. Prosessos ecológicos en agricultura sustentavel. Edit. Universidade Federal Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, Brasil
- Gómez-Jorriin LA, Martínez-Viera R. 2014. En prensa. Inoculantes microbianos y estimulantes. En: F Funes y L Vázquez. Avances de la Agroecología en Cuba. La Habana.
- González V. y Pomares F. 2008. La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas Agroecológicos. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Catarroja, Valencia España.
- González-Bayon R. 2003. Reciclaje de Nutrientes: aspectos prácticos. En. Manual de Agricultura orgánica sostenible. FAO-INIFAT. 145 pp.
- Instituto de Suelos. 2006. Balance del trabajo del Dpto. de Nutrición y Fertilidad. Documento interno. Instituto de Suelos MINAG, La Habana:25 pp.
- Instituto de Suelos. 2009. Balance del trabajo durante el período 2007 y 2009 del PNMCS. La Habana Cuba. 20 pp.
- Instituto de Suelos. 2013. Informe de balance anual. Instituto de Suelos MINAG, La Habana, Cuba. 30 pp.
- Kolmans E, Vásquez D. 1996. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Programa Agroecológico Campesino a Campesino. La Habana Cuba.150 pp.
- Martínez F. 2013. En prensa. Abonos orgánicos. En: F Funes y L Vázquez. Avances de la Agroecología en Cuba. La Habana.
- Martínez F, Calero B, Rovesti L. 2003. Lombricultura. Manual Práctico, 99 pp
- Martínez, F, Calero B, Calderón E, Valera MA, Ticante JA. 2001. Transformación de los restos orgánicos en los suelos y su impacto ambiental. Boletín No 4 SCCS. SIN 16091876. Publicación electrónica.
- Martínez-Viera R.1998.Los biofertilizantes como factores de economía y productividad en la agricultura tropical. En Curso Taller sobre Agricultura Sostenible en el Trópico. La Habana: 25-41
- Martínez-Viera R, Dibut B. 2004. Los Biofertilizantes Microbianos. Instituto de Investigaciones de Agricultura Tropical Alejandro de Humbolt. La Habana Cuba. 22 pp.
- MINAG. 2010. Programa para la Recuperación y Desarrollo de los Biofertilizantes, Bioestimulantes y Bioplaguicidas para Sustituir Importaciones en la Producción Agroalimentaria y Generar Exportaciones. Documento presentado al MEP, Cuba, mayo del 2010, 20 pp.
- Muñiz O. 2004. Hacia un manejo integrado de la nutrición de los cultivos: el caso cubano. En: Memorias del XVI Congreso

- Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cartagena de Indias. En CD ROM
- Peña E. 2006. Caracterização do húmus e da farinha de minhoca obtidos a partir de dois processos de vermicompostagem com diferentes resíduos orgânicos. Tesis Doutor em ciências. EMBRAPA, Pelotas, Brasil
- Peña E, Carrión M, Martínez F, Rodríguez-Nodals A, Companioni N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la Agricultura Urbana. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Grupo Nacional de Agricultura Urbana. La Habana Cuba. 100 pp.
- Ponce de Leon D. 2003. Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial. Tesis Dr en Ciencias Agrícolas. ISCAH, La Habana Cuba. 99 pp..
- Soto Ay Martínez F. 2011. Indicaciones prácticas para la conservación, mejoramiento y fertilización de los suelos. Ed. Pueblo y Revolución. Instituto de Suelos. MINAG, La Habana, Cuba. 180 pp.
- Treto E, García M, Martinez-Viera R, Febles J M. 2001. Avances en el manejo de los suelos y la nutrición orgánica. En: F Funes, L García, M Bourque, N Pérez y P Rosset (Eds). Transformando el campo cubano. Avances en la Agricultura Sostenible. 286 pp.
- Tuev NA. 1986. Actualidad e importancia práctica de las investigaciones microbiológicas para solucionar el problema de elevar la fertilidad de los suelos. (en ruso). Trudi. Instituto de Microbiología Agrícola de Leningrado Tomo 5b: 5-13.

6

EL SUELO COMO COMPONENTE ESENCIAL EN LA SALUD DE LAS PLANTAS. SU FUNCIÓN COMO “FILTRO BIOLÓGICO”

José Luis Porcuna Coto

Sanidad Vegetal. Tenerife.España

RESUMEN

El proceso por el cual los suelos empiezan a perder la fertilidad y la capacidad de albergar vida se llama desertización, y en ello pueden influir, tanto la proximidad de otros desiertos, como las propias operaciones que se desarrollan en el mismo suelo, siendo la actividad agraria, una de las causas que pueden desencadenar estos procesos, cuando no se desarrolla con criterios agroecológicos.

Los agricultores tradicionales basaban la fertilización de los suelos, en el empleo de estiércoles semi o totalmente compostados, que se dejaban en superficie o se enterraban a poca profundidad. La incorporación a la agricultura moderna de fertilizantes químicos, utilizados a gran escala, en detrimento de las aportaciones orgánicas, ha provocado efectos lamentables en los suelos. Uno de ellos es que los contenidos de materia orgánica hayan disminuido hasta niveles inferiores al 1%, incluso en aquellos campos que se dedican a horticultura intensiva.

Sin la materia orgánica, la vida en el suelo va desapareciendo al no disponer de energía, y al desaparecer la vida también se va deteriorando la estructura del suelo, y así disminuye la capacidad de retener agua y minerales esenciales para el desarrollo equilibrado de las plantas. Sin materia orgánica, también disminuye la actividad de los artrópodos del suelo, la actividad microbiana y también disminuye la cubierta vegetal que estos sostienen; al mismo tiempo, el suelo va dejando de realizar una de las funciones mas importante para mantener la estabilidad de los agrosistemas: la de “filtro biológico”.

INTRODUCCIÓN

En el suelo ocurren innumerables y muy complejas interacciones entre plantas, artrópodos y microorganismos. Sabemos que las prácticas de agricultura intensiva, basado en las variedades híbridas y en la fertilización química en detrimento de las aportaciones orgánicas, han provocado, la pérdida de biodiversidad en el suelo. Esta biodiversidad esta representada por multitud de artrópodos, lombrices, hongos, etc., que al mermar sus poblaciones dejan de realizar funciones básicas de mulción y aireación del suelo así como de interacción entre ellos y con las raíces.

Al mismo tiempo, que el suelo pierde su actividad, va perdiendo su estructura, se compacta, y de esa forma, se produce un desarrollo ventajoso de la flora microbiana anaeróbica inductora de procesos patológicos en las raíces, incrementándose en consecuencia la susceptibilidad de las plantas frente a patógenos, insectos o cualquier tipo de estrés.

En este mismo sentido, los edafólogos observan el efecto que esta intensificación agrícola produce favoreciendo la destrucción y deterioro del complejo arcilloso húmico. Sin este complejo, se incrementa el lavado y arrastre a capas profundas de las arcillas, que al no estar enlazadas al humus, dejan de estar presente en los lugares en los que se producen las interacciones – patógeno/raíz –, y por lo tanto, dejan de jugar el importante papel en los posibles procesos de resistencias a hongos vasculares, en los procesos de retención de minerales y en la capacidad para retener la misma agua.

A todos estos efectos tenemos que sumar la influencia negativa que tienen las aportaciones de fosfatos, sobre la presencia de hongos formadores de micorrizas asociados a las raíces. El papel jugado por estas, para explorar mayor superficie de suelo, para fortalecer la estructura del mismo y conseguir para la plantas elementos imprescindibles para su desarrollo equilibrado, cobra cada vez mas importancia. Además el papel de las micorrizas minimizando los estrés de las plantas, así como su acción protectora frente a numerosos patógenos cobra una importancia esencial para la sostenibilidad de los agrosistemas.

EL SUELO. UNA VISIÓN AGROECOLÓGICA

Aunque el suelo ha sido estudiado tradicionalmente por su composición mineral y por su estructura física, son otros puntos de vista los que dan una visión más completa y real del mismo.

Efectivamente, en la última década, han sido numerosos investigadores los que han fijado su atención en la biodiversidad del suelo, tanto en lo referente a la presencia de macrofauna, como en la de mesofauna y la microfauna.

La presencia de esta biodiversidad ha sido relacionada en numerosas ocasiones como un factor de fertilidad y de salud de los suelos. Sin embargo, han sido pocos los estudios que han abordado la relación entre los niveles de biodiversidad y el desarrollo de una de las funciones mas importantes que ejerce el suelo en relación con las plagas y enfermedades, la función de “filtro biológico”.

Sabemos que un suelo con niveles altos de materia orgánica y con niveles altos de biodiversidad, es un suelo que mantiene una estructura sostenida por la red que construye el complejo arcilloso húmico junto a la acción de los artrópodos y microorganismos. Efectivamente, un suelo que mantiene una buena estructura, permite que circule en él, tanto el aire como el agua y en torno a estos dos componentes “surgerà la vida”.

Ciertamente, el suelo como “ente vivo” (Tello, 1998) realiza muchas funciones, además de la de ser soporte de las plantas y fuente de alimento, una de estas funciones esencial para el funcionamiento del conjunto del agro-sistema es la de ser un autentico “filtro biológico” para gran cantidad de plagas, hongos de raíces, nematodos, bacterias y virus fitopatógenos, que al estar en contacto con él, ven reducidas sus poblaciones y con ello la capacidad de realizar daños a las plantas

En muchas ocasiones esta función de filtro se pierde, como hemos visto anteriormente, como consecuencia del laboreo profundo o de la utilización de desinfectantes e insecticidas, por la falta de materia orgánica o por la ausencia de rotaciones; por un mal manejo en general.

EL SUELO: “FILTRO BIOLÓGICO” DE LAS POBLACIONES DE INSECTOS PATÓGENOS

Los depredadores

El suelo es un hábitat muy rico en insectos, y la actividad de estos, modifica la estructura y la composición del mismo, ya que actúan sobre las capas superficiales e influyen en los procesos de edafogénesis.

Un considerable número de artrópodos viven permanentemente dentro del suelo (geobiontes) y otros por el contrario, solo pasan allí alguna etapa de la vida (geofilos). En general se estima que un 80% de las especies fitófagas toman contacto con el suelo durante toda o parte de la vida.

Los insectos geobiontes realizan su desarrollo pre-imaginal en el suelo pero el adulto tiene vida aérea (gusanos blancos y gusanos de alambre) y se alimentan de partes hipogeas como raíces, cuello, bulbos, tubérculos, etc; los geofilos se dividen en dos grupos: los activos e inactivos.

Los geofilos activos se establecen en las partes aéreas o alternan (ascenso/descenso) para obtener el alimento (gusanos cabezudos, gusanos grises, etc). Los geófilos inactivos acuden al suelo para empupar o para resguardarse durante el periodo de diapausa (moscas de la fruta, del olivo, etc) y una vez transcurridos estas etapas centran sus ataques en la parte aérea, hojas, yemas, flores y frutos, etc. Ante este panorama queda clara la importancia de manejar bien el suelo para favorecer la actuación de los parásitos y depredadores durante el tiempo que los fitófagos permanecen en él.

En efecto, cuando un insecto necesita empupar en el suelo, como por ejemplo la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* o los trips, suelen sufrir la acción depredadora de numerosos insectos que habitan él y que depredan las pupas. Igualmente, la acción de los numerosos microorganismos (hongos y bacterias), que habitan los suelos con alta actividad biológica, pueden parasitar las paredes de las pupas o de los huevos inhabilitando su posibilidad de evolución. Esta acción de filtro que ocurre en el

suelo, puede alcanzar niveles que supongan una merma de hasta el 70% de las poblaciones.

En el caso de la mosca del mediterráneo se ha documentado la gran importancia que tiene en las poblaciones de mosca la actividad de depredadores de pupas que habitan en el suelo como la araña *Pardosa cribata*, el coleóptero *Psedophonus rufines*, la “tijereta” *Forticula auricularia* así como la acción sobre las pupas del hongo de *Stigmatomyces aciurae*.

En cultivos herbáceos extensivos, como maíz, algodón, soya, etc, se encuentran importantes cantidades de artrópodos depredadores de suelo como Dermápteros, Formicidos, así como Arácnidos y Staphylinidos. Los depredadores mas significativos encontrados contra los gusanos de suelo: *Spodoptera frugiperda*, *Eslamopalpus lignosellus*, *Spodoptera frugiperda* y *Diatraea sacharalis* fueron: arañas del genero *Bathyphantes* sp y *Eperigone* sp; Formicidos del genero *Pheidole* spp, Dermápteros de la especie *Labidura riparia*, Carabidos del genero *Aleocharinae* sp, *Pterostichus* sp y Formicidos del genero *Solenopsis* sp.

LAS HORMIGAS. UNOS HABITANTES ESENCIALES

Risch y Carroll (1982) dan una importancia especial a las hormigas en su acción de depredación y destacan cinco atributos asociados como eficientes agentes de control biológico.

Una primera característica es que las hormigas son muy sensibles a la variación espacial respecto a la densidad de su alimento; ellas son capaces de consumir cantidades muy altas de alimento.

El segundo distintivo es la persistencia de las hormigas como depredadoras incluso cuando falta el alimento. Ellas pueden ser caníbales sobre los estados inmaduros, para así atenuar los efectos de disminución de presas sobre el suelo.

El tercer atributo hace referencia a que su actividad de depredación no baja ante la presencia de mucho alimento ya que en sus nidos, las obreras pueden almacenarlos en cámaras protegidas.

El cuarto atributo es que las hormigas pueden tener un impacto negativo sobre sus víctimas más allá de aquel representado por el

simple número de presas individuales consumidas. Existen muchas especies de hormigas que defienden la planta, en o sobre la cual se ha instalado la colonia, contra herbívoros de todo tipo. Como ejemplo de este comportamiento se pueden mencionar varias especies del género *Azteca* (*Dolichoderinae*) que construyen nidos en árboles de caucho y de cítricos y defienden su árbol perfectamente contra la hormiga arriera, *Atta* spp. (*Myrmicinae*).

El patrón de comportamiento de las hormigas puede manipularse y manejarse para maximizar su contacto con las presas. A este respecto, Leston (1973) menciona la factibilidad de usar fuentes de azúcar, tales como plantas con nectarios extraflorales o caña machacada, como atrayente de las obreras a sitios específicos de la plantación o partes de la planta que son especialmente vulnerables al daño de insectos plaga.

Ya en 1940, en su libro clásico sobre insectos entomófagos, Clausen plantea que el valor de la capacidad depredadora de las hormigas, en general, ha sido subestimado y menciona que desde hace siglos los cultivadores de dátil, de Yemen, transportan nidos de hormigas y los colocan en las palmas para protegerlas de otras especies de hormigas dañinas. También cita a Groff y Howard (1924), quienes observaron en el sur de la China la recolección de nidos de *Oecophylla sumaragdina* F. Smith (*Formicinae*) para ser luego colocados en cítricos. Estas hormigas destruyen todo tipo de larvas de Lepidópteros, exceptuando las peludas, y ahuyentan las coleópteros y las chinches.

Hólldober y Wilson (1990) afirman que esta práctica, incluyendo la venta de nidos, ha sido empleada en esta región durante aproximadamente 1 700 años y citan además a Huang y Yang (1987), quienes manifiestan que esta técnica básica ha sido repetidamente descrita en la literatura clásica china entre el año 304 A.D. y 1795 y que la práctica continúa en algunas provincias del sur.

El sistema ecológico que más hormigas alberga es el trópico, en él la actividad de las hormigas mezclando horizontes del suelo y mejorando la aireación, son especialmente relevantes en las regiones tropicales ya que influyen sobre la formación del suelo y las relaciones suelo-planta. Además de remover el suelo pueden

remover cantidades apreciables de semillas de malezas gramíneas y así contribuir a la disminución de malezas en las plantaciones. (Risch y Carroll, 1986).

Los microorganismos

El suelo alberga una abundante comunidad microbiana, si bien solo unos pocos entran en la categoría de entomopatógenos porque manifiestan capacidad para originar enfermedades a los insectos.

En la siguiente tabla se recogen algunos de los microorganismos mas frecuentes de encontrados en el suelo con capacidad de parasitar insectos:

Bacterias	Hongos	Nematodos
<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Bacillus pupilliae</i> <i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Beauveria bassiana</i> <i>Beauveria brongniartii</i> <i>Metarhizium anisopliae</i> <i>Isaria spp</i> <i>Lecanicillium lecanii</i> <i>Entomophaga maimagis</i> <i>Nomurea rileyi</i>	<i>Steinernema spp</i> <i>Heterorhabditis spp</i>

Hongos entomopatógenos

Las especies de hongos entomopatógenos presentes de forma natural en el suelo pertenecen a los ascomicetos. Los hongos poseen una gran variabilidad genética y un amplio rango de hospedantes. Los hongos de mayor interés por su potencial como patógenos de insectos son: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride*, *Nomurea rileyi*, *Lecanicillium lecanii*, *Hirsutella thompsonii*, *Aschersonia aleyrodis*, *Paecilomyces spp.*, *Cordyceps spp.*, y hongos del orden *Entomophthorales* (*Zoopthora*, *Entomophthora*, *Entomophaga*, *Neozygites*).

En la mayoría de los estudios realizados sobre suelos de maíz y soja se encuentran resultados parecidos a otros cultivos, en lo referente a la presencia de hongos entomopatógenos. Aproximadamente el 70% de las muestras de gusanos de suelo son positivas a la presencia de *B. bassiana*, *M. anisopliae* y

Paecilomyces spp. , *M. anisopliae* y *Paecilomyces* spp. Entre estos *B. bassiana* es la especie que infecta en mayor proporción, mientras que *M. anisopliae* y *Paecilomyces* spp son menos importantes. Diferentes estudios confirman esta información para México, Canadá y otros países, en los que se ha reportado la presencia de los mismos géneros de hongos entomopatógenos también predominando *B. bassiana*. Asimismo, se conoce que *B. bassiana* sobrevive por más tiempo en áreas de clima templado y donde existen huéspedes para tener continuidad en su ciclo de infección.

En cuanto a la diferencia entre suelos, Sosa-Gómez y Moscardi ya informaban en 2001 que la presencia de estos hongos era mayor en suelos no cultivados, con materia orgánica que en los cultivados, encontrándose entre ellos diferencias significativas.

Bacterias y virus

Respecto a las bacterias existen dos tipos de bacterias que actúan en el control de insectos de suelos. Las que causan una infección mortal y las que los matan principalmente por la acción insecticida de una toxina. En el primer caso tenemos al *Bacillus popilliae*, una bacteria que infecta y mata a las larvas de coleópteros, principalmente las de la familia scarabaeidae que viven en el suelo. El segundo ejemplo incluye al *Bacillus thuringiensis*, una especie que produce una toxina capaz de matar insectos que esten o no asociados a la bacteria.

Bacillus sphaericus es una bacteria que se encuentra de forma común en el suelo y otros hábitats. La toxina que genera es tan potente como los insecticidas sintéticos. La reproducción de la bacteria ocurre después que el insecto ha muerto.

En el suelo el VPN (Virus de la poliedrosis nuclear) puede tener una supervivencia de hasta 40 años y su eficacia esta unida a su capacidad de dispersión a través de los parasitoides y depredadores así como por el viento. Existen evidencias de que el suelo constituye un reservorio a largo plazo para la persistencia de los virus entomopatógenos.

Nematodos entomopatógenos

Los nematodos entomopatógenos llevan en asociación una bacteria que es la responsable de originar la muerte a los insectos hospedantes. Los nematodos entomopatógenos son muy similares a los que parasitan plantas. Los nematodos entomopatógenos pueden asociarse con los insectos de tres formas: adherencia, parasitismo obligado y parasitismo facultativo.

Por lo general, los nematodos entomopatógenos presentan una estrecha asociación (simbiosis) con bacterias específicas, las cuales son los agentes primarios que inician la infección en el hospedante. Los nematodos transportan internamente bacterias específicas que son liberadas en el interior del cuerpo del insecto después de que el nematodo penetra.

Estas bacterias se multiplican dentro del insecto y lo matan al causarle septicemia (infección generalizada). Los principales grupos de nematodos de interés pertenecen al orden Rhabditida, y dentro de éste a las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae.

EL SUELO: “FILTRO BIOLÓGICO” DE HONGOS PATÓGENOS

Durante los últimos 30 años, una gran diversidad de microorganismos del suelo han sido descritos, caracterizados, aislados y evaluados como agentes de control biológico de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos del suelo. Se han desarrollado varias estrategias de control basadas en la introducción de agentes de control biológico, tanto de manera individual como en mezclas. Sin embargo este enfoque de control de enfermedades no ha resultado ser muy eficaz, ya que la complejidad microbiológica del suelo no facilita que un microorganismo introducido se pueda instalar fácilmente.

Sin embargo las enmiendas orgánicas, tales como estiércoles frescos, estiércoles fermentados, y composts, han sido ampliamente reconocidos como facilitadores del control de enfermedades de suelo, cuando son aplicados mucho antes de la siembra o durante los cultivos. Estas prácticas de manejo pueden ser muy

eficaces para el control de enfermedades causadas por muchos fitopatógenos del suelo, que van desde *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium* spp. hasta *Rhizoctonia solani*.

Los estudios realizados han definido que este efecto supresor de la materia orgánica, está íntimamente relacionado con el estímulo de los microorganismos edáficos que ella provoca.

La acción supresora se realiza por medio de tres mecanismos biológicos:

- Competencia.
- Antibiosis.
- Parasitismo/depredación.
- Resistencia sistémica inducida.

Una gran diversidad de microorganismos contribuyen al control biológico estimulados por el compost. Sin embargo, la composición de la microflora activa, cambia a medida que la materia orgánica se descompone, la capacidad de carga microbiana de la enmienda se reduce y la supresión se pierde.

Diferentes informes muestran que las podredumbres de la raíz causadas por *Pythium* y *Phytophthora* son rápidamente controladas por composts naturales, si son aplicados como cobertura al suelo, incorporados como enmiendas al suelo o como un componente de mezclas para macetas o en mezclas con arena para césped. Este control de las podredumbres de raíz mediante enmienda de compost, tanto en condiciones de campo como en mezcla para macetas, parece también ser resultado de interacciones entre muchos tipos de microorganismos.

Los primeras evidencias de que los compost pueden inducir resistencias aparecen en 1992, estudiando la inducción de resistencia a *Erysiphe graminis* en trigo. Posteriormente Clulow *et al.*, (1995) observó que cubrir los tubérculos con compost protege a la planta de papa del tizón tardío. Zhang *et al.*, (1996) demostró que al exponer una parte de la raíz de pino a una mezcla con enmiendas de compost, la podredumbre de la raíz causada por *Pythium*, no se desarrolla. Posteriormente otros estudios constataron estos procesos (Tello 2006) en diferentes cultivos de invernaderos del litoral mediterráneo.

Por otra parte, la presencia en el suelo de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) pueden contribuir a aliviar los daños producidos por hongos patógenos tales como *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Verticillium* o por nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) o lesionadores (*Pratylenchus* sp.) (Jaizme Vega et al., 2006). Esta acción se ejerce por medio de diferentes mecanismos mediante los cuales la presencia de la simbiosis contribuye al control biológico de estos patógenos.

Lazarovits, Conn y Kritzman (1997) encuentran que los residuos orgánicos con alto contenido de nitrógeno reducen las poblaciones de *Verticillium dahliae* y de la bacteria *Streptomyces scabies*, nematodos y malas hierbas en papa.

Además, determinadas especies del género *Streptomyces* pueden excretar de sustancias con capacidad antibiótica como estreptomicina, tetraciclina y otros, con el fin de producir equilibrios genéricos o antagonicos específicos hacia los componentes de la microflora bacteriana. Algunos de estos antibióticos son capaces de llegar hasta el interior de la raíz, generando un pequeño pool capaz de responder a la presencia de determinados fitopatógenos que no ha sido capaz de frenar su entrada la planta.

EL SUELO: "FILTRO BIOLÓGICO DE NEMATODOS FITOPATÓGENOS"

Aunque la bibliografía sobre la acción de los microorganismos en el control de las poblaciones de nematodos fitopatógenos es más reducida, son ya bastantes los estudios que han documentado la acción de hongos y de nematodos entomopatógenos sobre las poblaciones de nematodos.

En este mismo sentido un estudio del profesor Blouin de 2005 demostraba que las poblaciones de nematodos fitopatógenos en plantas de tomate se veían disminuidas hasta en un 82% cuando en los suelos estaban presentes una gran actividad de las lombrices de tierra. Las lombrices de tierra están íntimamente relacionadas a su vez con los porcentajes de materia orgánica del suelo.

Con el objetivo de reducir los niveles de infestación de *Meloidogyne* spp. en el cultivo de tomate, Baños *et al.*, (1980) documenta la eficacia de gallinaza junto con melaza y *Trichoderma* spp. en Cuba.

Kabana (1990) demuestra cómo es posible un control biológico de los nematodos en cultivos extensivos mediante rotaciones y materia orgánica. A su vez Sarah, J. (1998). documenta cómo el manejo con prácticas culturales y manejo de la materia orgánica puede controlar los nematodos en el cultivo del banano y Bello (2000) mediante las practicas del enterrado de la materia orgánica (Biofumigacion) controla las poblaciones de *Meloidogyne* en cultivos hortícolas intensivos

EL SUELO: “FILTRO BIOLÓGICO” DE BACTERIAS Y VIRUS PATÓGENOS

En distintos países se ha podido documentar la reducción de bacterias fitopatógenas tras la utilización de estiércoles de vaca y algunos compost, indicando que la reducción va a depender del tipo de suelo, tipo de compost y de la dosis. Se han encontrado resultados similares en tomates y frutales, considerando que la materia orgánica es un buen tratamiento para recuperar suelos fatigados al mismo tiempo que se incrementan los organismos del suelo.

Michel *et al.*, (1996,1997) encuentran efecto supresivo en el abono verde de soja y residuos de cebolla adicionándole 200 kg/ha de nitrógeno ureico y 500 kg/ha de CaO reduciendo las poblaciones de bacterias de *R. solanacearum* en tomate, como consecuencia del efecto supresor que se produce durante la transformación de la urea en presencia de CaO.

Recientemente se identificaron varios microorganismos en compost supresivos capaces de inducir resistencia sistémica en rábano y pepino. *T. hamatum* y *Pantoea agglomerans*, aplicados a las raíces de semilleros de rábano indujeron resistencia a la mancha bacteriana foliar causada por *Xanthomonas campestris* pv. *Armoraceae*.

Hoitink *et al.*, 1997, demuestra la capacidad de distintos tipos de composta para frenar el desarrollo de bacteria fitopatógenos en distintos cultivos. También definió como pueden limitar la actividad supresita el ph, la salinidad, el nitrógeno, etc. A su vez Van Loon *et al.* (1998), documentó parte de los mecanismos que utilizan los microorganismos de la rizosfera para frenar el desarrollo de bacterias fitopatógenas en las raíces son dependientes de complejas interacciones.

LA INCIDENCIA DE LAS OPERACIONES CULTURALES EN LA CAPACIDAD DE FILTRO BIOLÓGICO

La labranza y su incidencia sobre la capacidad de filtro biológico

El tipo y el grado de labranza del suelo afectan a los artrópodos que viven en el medio edáfico. La acumulación progresiva de los residuos sobre la superficie afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La cobertura de residuos disminuye la temperatura del suelo y favorece la conservación del agua en el mismo. Los artrópodos en general son muy sensibles a variaciones de temperatura y humedad por lo cual estos cambios alteran su comportamiento, desarrollo y supervivencia. En general la presencia de malezas modifica el hábitat proveyendo de lugares disponibles de oviposición, alimentación y refugio tanto para artrópodos fitófagos como predadores.

El impacto del tipo de labranza en agroecosistemas es mayor sobre la fauna que habita en el suelo con respecto a la que se encuentra sobre el follaje. En general las poblaciones de los artrópodos fitófagos-detritívoros y predadores, las arañas y las larvas fitófagas-detritívoras (Diptera, Coleoptera, Lepidoptera) son significativamente mayor en cultivos sin labranza.

En la práctica el paso de los sistemas con labranza a los sistemas de siembra directa provoca un cambio en los tipos de plagas y sus daños a los cultivos, ya que el tipo de labranza afecta de diferente manera a la actividad de la mayoría de los grupos de artrópodos de la superficie del suelo, y en los múltiples estudios

llevados a cabo sobre estos temas se constata en una inmensa mayoría que la actividad de los predadores es generalmente mayor en los cultivos sin labranza o con bajos niveles de movimientos del suelo.

Así se ha demostrado en innumerables estudios llevados a cabo. Por ejemplo se ha demostrado la relación entre la incidencia de *Cyrtomenus bergi*, un insecto hemíptero que ataca a las raíces del maíz, con la pérdida de diversidad que provoca en los suelos la utilización del arado. En los suelos estudiados en los que se practicaba el no laboreo o un laboreo superficial, era donde aparecían los menores niveles de la plaga de las raíces del maíz. En el mismo sentido se han realizado estudios con resultados parecidos para los *Trips* en cereales, en cultivos de algodón, soya, etcétera.

LOS CULTIVOS DE COBERTURA INCREMENTAN LOS NIVELES DE BIODIVERSIDAD DEL SUELO

La Universidad Politécnica de Valencia en colaboración con la Universidad de Navarra ha constatado que los ácaros depredadores del suelo constituyen un freno importante a las poblaciones de *Pezothrips kellyanus*, importante plaga de los cítricos. Concretamente el acaro que ejercía mayor control era el fitoseido *Gaeolaelaps aculeifer*. Este estudio igualmente relacionaba la presencia de ácaros depredadores en el suelo con la presencia en el suelo de cubierta vegetal y materia orgánica.

Igualmente Varballo (1982) encuentra que las siembras de maíz con cultivos de cobertura, se manifiesta como una buena estrategia para aumentar las poblaciones de insectos predadores que llegaron a depredar más del 50% de las pupas barrenadores colocadas en maíz y de las pupas colocadas en soya.

Un caso de utilización del incremento de la diversidad local para el control de enfermedades la constituye la utilización muy generalizada de *Oxalis pescaprae* como cubierta vegetal en los campos de cítricos del litoral mediterráneo peninsular. Aunque su finalidad principal es evitar el “aguado” de los cítricos (*Phytophthora*), al evitar que las salpicaduras de la lluvia sobre el

suelo, sirvan de contaminación de esporas y propágulos del hongo sobre los frutos situados en las partes bajas del árbol, posteriores estudios han demostrado que otras muchas funciones eran ejercidas por la cubierta vegetal de oxalis, entre ellas: proteger las raíces superficiales de los cítricos, con las que no compiten; favorecer la instalación y el mantenimiento de micorrizas, evitar la erosión y facilitar la formación de agregados, una cierta acción acidificante, muy positiva para los suelos calcáreos mediterráneos y servir de nicho a importantes poblaciones de Fitoseidos (ácaros depredadores).

Respecto a la capacidad de estimular la capacidad de minimizar el desarrollo de enfermedades mediante los abonos verdes, tenemos bastantes evidencias. Ya en 1960 Papavizas y Davey observan que abonos verdes de trigo, maíz, avena, guisante y pastos de Sudán controlan *Rhizoctonia solani* en judías. Kirkegaard en 1993 demuestra que las sustancias volátiles de las brasicas inhiben el crecimiento del hongo del trigo *Gaeumannomyces graminis*. Tradicionalmente el abono verde de brasicas se ha considerado supresor de organismos productores de plagas y enfermedades cuando se incorpora al suelo (Chan y Close 1987; Mojtahedi *et al.*, 1991).

Rotaciones

Una cantidad considerable de estudios han relacionado la importancia de las rotaciones para mantener alta la biodiversidad de los suelos y de esa forma minimizar los daños de plagas y enfermedades del suelo. De hecho tradicionalmente así se ha entendido por todas las culturas agrarias tradicionales.

Entre otros estudios, en este caso el cultivo de sorgo antes de las plantaciones de algodón se ha documentado la capacidad para proporcionar un buen control de *Phytophthora*. Asimismo la eficacia de las cubiertas vegetales de leguminosa para el control de la enfermedad ha sido ampliamente demostrado.

Otros estudios encontraron aumentos en la cantidad de predadores y en la cantidad de pupas que los predadores consumieron en de rotaciones de maíz, soya, y cosechas forrajeras. Los preda-

dores, fueron en su mayoría escarabajos carábidos del suelo y arácnidos.

REFERENCIAS

- Baños Y., C. Armando del Busto¹; L.azo R.; Gonzalez I., Morejon L., Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. en el manejo de *Meloidogyne* spp. Revista Brasileira de Agroecologia Rev. Bras. de Agroecologia. 5(2): 224-233 (2010) ISSN: 1980-9735.
- Bello, A., López-Pérez, J. A., & Díaz-Viruliche, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. Memorias del Simposium Internacional de la Fresa Zamora, México, 24-50.
- Blouin M, Zuily-Fodil Y, Pham-Thi A-T, Laffray D, Reversat G, Pando A, Tondoh J, Lavelle P. 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. 8: 202-208.
- Sarah, J. (1998). Las prácticas culturales como medio de control de nematodos en el banano. Producción de banano orgánico y/o ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional en Guácimo, Costa Rica. Honduras: Centro Editorial, 138-151.
- Carballo Vargas, M. . (1982) : Manejo del suelo, rastrojo y plagas: interacciones y efecto sobre el maíz (*Zea mays* L.). Tesis (Mag Sc). Turrialba (Costa Rica).b1982..94 p
- Clulow, S. A., McNicoll, J., & Bradshaw, J. E. (1995). Producing commercially attractive, uniform true potato seed progenies: the influence of breeding scheme and parental genotype. Theoretical and Applied Genetics, 90(3-4), 519-525
- Chan M.Y.K.; R.C. Close. 1987. *Aphanomyces* root rot of peas. 3. Control by the use of cruciferous amendments. N.Z.J.Agric.Res. 30, 225-233.
- Huang, H. T., & Yang, P. (1987). The ancient cultured citrus ant. BioScience, 665-671.
- Hoitink, H. A. J., Stone, A. G., & Han, D. Y. (1997). Supresión de enfermedades de plantas mediante compost. Agronomía Costarricense, 21(1), 25-33.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). Host tree selection by the neotropical ant *Paraponera clavata* (Hymenoptera: Formicidae). Selección del árbol hospedero por parte de la hormiga bala *Paraponera clavata* (Hymenoptera: Formicidae). Biotropica., 22(2), 213-214.
- Jaizme-Vega, M.C. ; Rodriguez Romero, A.S. ;Barroso Nuñez, L.A. 2006. Effect og the combined inoculation of two arbuscular

- mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on papaya (*Carica papaya* L.) infected with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Fruit*, 61:151-162.
- Kirkegaard, J. A., Wong, P. T. W., & Desmarchelier, J. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil*, 201(1), 103-112.
- Lazarovits, G.; K.Conn; G.Kritzman. 1997. High nitrogen containing organic amendments for the control of soilborne plant pathogens. International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-5, 1997, San Diego, California, 3, 1-2.
- Leston, D. (1973). The ant mosaic-tropical tree crops and the limiting of pests and diseases. *PANS Pest Articles & News Summaries*, 19(3), 311-341.
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Martínez-Rojero, R. D., Rodríguez-Morán, N. L., Ariza-Flores, R., & Barrios-Ayala, A. (2008). Producción masiva de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2), 185-191.
- Michel, V.V.; T.W. New. 1996. Effect of a soil amendment on the survival of *Ralstonia solanacearum* in different soils. *Phytopathology* 88, 300-305.
- Michel, V.V.; J.F. Wang; D.J. Midmore; G.L. Hertman. 1997. Effects of intercropping and soil amendment with urea and calcium oxide on the incidence of bacterial wilt of tomato and survival of soil-borne *Pseudomonas solanacearum* in Taiwan. *Plant Pathology* 46, 600-610.
- Mojtahedi, H., G.S. Santo, A.N. Hang, and J.H. Wilson. 1991. Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. *Journal of Nematology* 23:170-174.
- Papavizas, G.C.; C.B. Davey. 1960. Rhizoctonia disease of bean as affected by decomposing green plant materials and associated microfloras. *Phytopathology* 60, 516-522.
- Risch, S. J., & Carroll, C. R. (1982). The ecological role of ants in two Mexican agroecosystems. *Oecologia*, 55(1), 114-119.
- Rodriguez-Kabana, R. (1991). Nematological Review: Control Biológico de Nematodos Parasitos de Plantas. *Nematropica*, 21(1), 111-122
- Sarah, J. (1998). Las prácticas culturales como medio de control de nematodos en el banano. Producción de banano orgánico y/o ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional en Guácimo, Costa Rica. Honduras: Centro Editorial, 138-151.

- Sosa-Gomez, D. R., Delpin, K. E., Moscardi, F., & Farias, J. R. (2001). Natural occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium*, *Beauveria* and *Paecilomyces* in soybean under till and no-till cultivation systems. *Neotropical Entomology*, 30(3), 407-410.
- Tello Marquina J.C. 1990. El suelo como "ente vivo" y su relación con las enfermedades de las plantas. Universidad de Almeria
- Tello Marquina, J. C. T., Martínez, F. D., & Santos, M. (2006). Control biológico de enfermedades mediante residuos compostados. *Vida rural*, (239), 36-39.
- Van Loon LC., Bakker, P.A.H.M., Pieterse C.M.J 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36:453-483
- Zhang, Q. F., M. A. S. Maroof, T. Y. Lu and B. Z. Shen. 1992. Genetic diversity and differentiation of Indica and Japonica rice detected by RFLP analysis. *Theor. Appl. Genet.* 83:495-499.

7

PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL SUELO

Nilda Pérez-Consuegra

*Universidad Agraria de La Habana
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste,
Mayabeque, Cuba*

Teléfono: (537) 205 6294, E mail: nilda@actaf.co.cu

RESUMEN

En general los organismos plagas que habitan en el suelo han sido menos estudiados que los residentes encima de este. La herbivoría en el suelo ocurre de manera imperceptible, desapercibida. En los sistemas agrícolas, la herbivoría subterránea ha recibido algo más de atención, en especial las plagas de insectos y nematodos, pero la prioridad se ha dado a investigaciones relacionadas con su control. La comprensión, en los últimos años de que los organismos que se alimentan de las raíces tienen un papel clave en los procesos ecosistémicos ha reestimulado el interés en las investigaciones y cambiado el énfasis de estas hacia una perspectiva ecosistémica más holística. Desde esa perspectiva se escribió este capítulo. El conocimiento de la naturaleza de las interacciones y relaciones de los organismos plaga que habitan en el suelo con la biota circundante tanto abajo como arriba, en sus contextos, permitirá favorecer los procesos que aseguran el funcionamiento óptimo de los agroecosistemas, y contribuirá así, al manejo agroecológico. Primero se presenta una visión general del estado de los organismos nocivos habitantes del suelo, con énfasis en los herbívoros; se continúa con una breve exposición de los organismos plaga del suelo más frecuentes en Cuba; se discute acerca de las interacciones arriba-abajo del suelo, de los mecanismos de defensa de la planta y por último se analiza el efecto de la nutrición nitrogenada sobre las relaciones tróficas con la intención de llamar la atención sobre la contribución de esta al aumento de las poblaciones de organismos plaga.

INTRODUCCIÓN

El problema de las plagas es uno de los grandes desafíos a los que se enfrentan los agricultores. Los organismos con potencial para convertirse en plagas siempre están presentes, forman parte de la biota que existe sobre la Tierra, son uno de los componentes vivos de los ecosistemas naturales y de los agroecosistemas manejados por el hombre, pero solo alcanzan esa categoría cuando el ambiente en que viven (biótico y abiótico) favorece el aumento de sus poblaciones. Dejamos bien claro que el término plaga es totalmente antropocéntrico y subjetivo.

El concepto de plaga (en relación con las plantas), se refiere a cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO 2012). El enfoque que se adopta frente al problema antes señalado tiene mucho que ver con la cultura predominante, hasta ahora, el enfoque que prevalece a escala global es el del quimicismo, a pesar de todo lo que se ha avanzado en el campo de las tecnologías alternativas al control químico, entre estas el control biológico (Van Lenteren 2012), del conocimiento científico que sustenta dichas tecnologías y de los progresos en el estudio de las interacciones y relaciones entre los organismos nocivos y el resto de los organismos que se encuentran en su entorno.

La superficie del suelo establece una línea imaginaria divisoria entre un arriba (lo visible) y un abajo (lo invisible). Decimos línea divisoria imaginaria porque en realidad no hay separación, veremos más adelante como los componentes de arriba están en estrecha conexión con los de abajo, formando una unidad, un sistema, un todo.

Por razones metodológicas, los organismos se han dividido de forma artificial para su estudio en dos grandes grupos: los que habitan encima del suelo y los que residen en este. En general, se puede afirmar que los residentes del piso superior han sido más estudiados que los de la planta baja, a pesar de que existe suficiente evidencia científica de que la biomasa debajo del suelo

es mucho más abundante que la existente encima de este (Susilo *et al.*, 2004), entre 50 a 90% (Gullan & Cranston 2005), para tener una idea de esa abundancia basta decir que en los bosques y praderas se puede contar entre 100 000 a 500 000 insectos y otros artrópodos por metro cuadrado de suelo (Schoonheven *et al.*, 2005).

No es difícil entender por qué se le ha prestado menos atención, en general, a los que viven en la planta baja. En idioma español existen varios refranes que podrían explicar, en parte, esta actitud: “*vista hace fe*”, “*ver para creer*”; en inglés se dice “*out of sight, out of mind*” (fuera de la vista, fuera de la mente) (Hunter 2001). La herbivoría o fitofagia debajo del suelo ocurre de manera imperceptible, desapercibida ¡no se ve! Aunque ha aumentado la evidencia de que puede tener un fuerte impacto sobre el bienestar de las plantas, este fue subestimado y el número de publicaciones era escaso (Schoonheven *et al.*, 2005), en especial en la literatura ecológica.

La situación es un poco diferente en los sistemas agrícolas, en los que la herbivoría subterránea ha recibido algo más de atención, en especial las plagas de insectos y nematodos, priorizándose las investigaciones aplicadas, sobre todo las relacionadas con su control, con énfasis en el control químico y en los últimos años en el control biológico (Blackshaw & Kerry 2008).

La comprensión de que los organismos que se alimentan de las raíces tienen un papel clave en los procesos ecosistémicos ha reestimulado el interés en las investigaciones y cambiado el énfasis de éstas hacia una perspectiva ecosistémica más holística (Johnson & Murray 2008).

Desde esa perspectiva se escribió este capítulo. El conocimiento de la naturaleza de las interacciones y relaciones de los organismos plaga que habitan en el suelo con la biota circundante tanto abajo como arriba, en sus contextos, permitirá favorecer los procesos que aseguran el funcionamiento óptimo de los agroecosistemas, y contribuirá así, al manejo agroecológico del suelo y de las plagas.

LOS ORGANISMOS NOCIVOS HABITANTES DEL SUELO

En el suelo habitan miríadas de organismos que forman múltiples redes tróficas (trófico significa relativo al alimento) muy complejas, se dice redes multitróficas, mediante las cuales se establecen relaciones e interacciones. Las relaciones e interacciones no se limitan al ambiente del suelo, se extienden a los organismos que viven encima, de modo que entre lo invisible (abajo) y lo visible (arriba) se establece una conexión; para que exista una conexión se necesitan un enlace, un conector; esos enlaces o conectores son las plantas, esa es precisamente, una de las funciones ecológicas que éstas tienen.

Veamos un ejemplo. Los insectos que comen las raíces pueden afectar a los comedores de las diferentes partes de la planta que están por encima del suelo (Van der Putten *et al.*, 2001). Al cultivo del arroz concurren dos insectos que se mantienen conectados mediante la planta, arriba vive *Spodoptera frugiperda* que se alimenta de las hojas y abajo el picudito acuático, *Lissorhynchus oryzophilus*, que se alimenta de las raíces. El daño producido por el picudito en las raíces reduce el crecimiento de *S. frugiperda*, a la vez que una severa defoliación por parte de *S. frugiperda* tiene efectos negativos sobre *L. oryzophilus* (Tindall & Stou 2001).

Los organismos con potencial para convertirse en plagas, que viven en el suelo, pertenecen a ocho grupos: virus, bacterias, hongos, nematodos, ácaros, insectos, moluscos y vertebrados. El grupo más numeroso es el de los insectos. La clase insecta ocupa el primer lugar en riqueza de especies, el segundo lugar le corresponde a las plantas verdes (Speight *et al.* 2008).

De acuerdo con sus hábitos alimentarios los insectos se dividen en cinco grupos: carroñeros o detritívoros (se alimentan de materia en descomposición), carnívoros, fungívoros (se alimentan de hongos), comedores de algas y musgos, y herbívoros (Southwood 1973). Los que tienen hábitos herbívoros o fitófagos (los que se alimentan de las plantas vivas) representan 50% de las especies conocidas y se ubican en seis órdenes: Coleoptera, Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Hemiptera y Orthoptera (Speight *et al.* 2008).

Una parte considerable de los insectos representados en ese 50% se alimenta de raíces y otros órganos subterráneos. Unos viven en el suelo y comen las partes más externas o superficiales, como sucede en arroz (*Oryza sativa*) con el picudito acuático (*Lissorhophtrus brevisrostris*) (Meneses 2008); otros hacen perforaciones y viven dentro de estas, un ejemplo muy conocido por los agricultores cubanos, de esta forma de alimentación, es la del tetuán del boniato (*Cylas formicarius* var *elengatulus*), la larva penetra dentro de la raíz tuberosa del boniato (*Ipomoea batatas*) y lo invalida para el consumo (Castellón *et al.* 1997); mientras que otros succionan la savia que fluye por los vasos conductores de las raíces como los áfidos.

En Cuba pudiera parecer que la herbivoría en el suelo es poco importante, pero lo que en realidad sucede es que los fitófagos de las raíces han sido poco estudiados. La escasez de técnicas y métodos para el estudio de los habitantes del suelo que se ha señalado como una dificultad a escala global (Blossey & Hunt-Joshi 2003), aquí es un problema mucho más agudo, pues a esa dificultad se suman otras, muy semejantes a las que limitan los estudios de la diversidad biológica en áreas como la conservación. Entre las dificultades se pueden señalar, la carencia de recursos financieros, la falta de materiales y equipos, el deterioro de las instalaciones existentes, el insuficiente número de especialistas preparados, las dificultades para publicar los resultados de las investigaciones y para acceder a la literatura científica nacional e internacional (CITMA 2014).

Entre los insectos fitófagos del suelo que más daño causan en Cuba, se encuentran: los curculiónidos (Familia Curculionidae: Orden Coleoptera) picudito acuático del arroz (*Lissorhophtrus brevisrostris*), tetuán del boniato (*C. formicarius*) y el picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus*). El tetuán y el picudo negro del plátano aparecen en la Lista de plagas cuarentenarias de la República de Cuba (MINAG 2008) señalados como plagas no cuarentenarias reglamentadas.

La familia Chrysomelidae (Orden Coleoptera) también se encuentra entre los comedores de raíces, las larvas de los crisomélidos

viven en la cercanía de estas, mientras que los adultos se alimentan del follaje. Las especies más representativas son *Diabrotica balteata* y *Cerotoma ruficornis*, a las dos hay que prestarle mucha atención pues son trasmisoras de enfermedades virales (Castillo 2011). El complejo *Diabrotica* está considerado entre las plagas más perjudiciales del suelo, en todo el mundo (ARS 2001).

En los suelos cultivados de boniato vive otra especie de crisomélido, *Typophorus nigritus* que antes de los años 2000 no representaba ninguna amenaza para el cultivo. Las larvas de *T. nigritus* recién salidas de los huevos se alimentan de raicillas y después pasan a los tubérculos, el daño es superficial, a diferencia del tetuán no hacen perforaciones profundas. *T. nigritus* alcanzó un carácter explosivo como plaga a principios de la década del 2000; de 2002 a 2004 se informó de forma progresiva en 111 municipios, con afectaciones de los tubérculos entre 5 y 80% (Castellón *et al.* 2010).

Los miembros de la familia Scarabaeidae (Orden Coleoptera) son insectos típicos del suelo, se les conoce, entre otros, por los nombres gallego, chicharrones, gusano blanco y gusano de manteca. El daño mayor lo causan sus larvas al alimentarse de las raíces de cultivos como: cafeto, naranjos y rosales. En Cuba se encuentran las especies *Strategus anacoreta* (escarabajo rinoceronte o bicho del cocotero) y *Strategus ajax* (escarabajo menor). En el género *Phyllophaga* están todos los chicharrones de color café o marrón, en diversas tonalidades (Castillo 2011).

En la familia Elateridae (orden Coleoptera) también se encuentran comedores de raíces, estos son los denominados cocuyos. Sus larvas son largas, estrechas, del mismo ancho en toda su extensión y con la cutícula muy dura, por estas características es que se conocen como gusanos de alambre o pasadores. Entre las especies de importancia agrícola se informan *Heteroderes laurentii* (pasador del tabaco); *Pyrophorus havaniensis* y *P. noctilucus* (sus larvas son beneficiosas pues son depredadoras, pero en estado adulto es fitófago) (Castillo 2011).

A la familia Cicadidae (orden Hemiptera) pertenecen las chicharras o cicadas. El daño lo realizan las ninfas que viven en

las raíces de las plantas y los adultos sobre el follaje. En Cuba están presentes los géneros *Juanaria*, *Diceroprocta* y *Uhlroides*. La especie más común es *Diceroprocta biconica obscurior*, la cual ha causado daños a naranjales jóvenes en Pinar del Río (Castillo 2011).

Los fitófagos al alimentarse producen heridas en las raíces, las que constituyen una puerta de entrada para los patógenos, esta es una de las interacciones negativas, para la planta, de mayor importancia en la relación insecto-planta-fitopatógeno. Aclaramos que es negativa para la planta, pues las interacciones pueden ser también positivas como veremos más adelante. Los patógenos se diseminan, además, por plantas infectadas; semillas y otros materiales de siembra como esquejes, posturas o plántulas que vienen del semillero con destino al trasplante; materia orgánica contaminada; y por el propio hombre, que los lleva de un lugar a otro en sus ropas y zapatos e instrumentos de trabajo.

Las enfermedades de las plantas en el campo son un fenómeno de elevada complejidad (Jeger 2001), con manifestaciones, en muchos casos, espectaculares. Esa característica de complejidad se extiende a su control. La cantidad de fungicidas que se utiliza hoy en Cuba supera en un porcentaje elevado a la del resto de los plaguicidas que se aplican en el control de otros organismos plaga. Una investigación realizada mediante estudios de caso, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad e impacto de las prácticas de manejo de plagas, permitió sistematizar dicha información, el resultado del estudio de caso en Batabanó puede consultarse en Hernández (2011) y Hernández & Pérez (2012). Esa tendencia a una utilización mayor en la cantidad de fungicidas es la seguida en otros países y regiones (Ramírez *et al.* 2009).

El ataque de los fitopatógenos, en general, no ocurre de manera aislada, lo más típico es que se produzca un complejo de enfermedades caracterizado por interacciones entre los patógenos causales, otros componentes bióticos asociados con las plantas y el ambiente físico (abiótico) (Jeger 2001).

Todo ese conjunto de interacciones bióticas puede tener efectos negativos o positivos sobre la planta, no siempre la presencia de los

patógenos resulta en un complejo de enfermedades, en ocasiones lo que ocurre es la supresión de un patógeno particular. Basados en ese conocimiento Beemster *et al.* (1991) plantearon que el uso inteligente de las interacciones bióticas y la manipulación del ambiente es esencial para el futuro de una agricultura con menos uso de plaguicidas y fertilizantes.

Entre los principales patógenos del suelo en Cuba se encuentran:

- Los hongos *Pythium spp.*, *Phytophthora parasitica*, *P.capsici*, *P. infestans*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y varias especies de *Sclerotium*.
- Las bacterias *Pectobacterium carotovorum* y *Dickeya chrysanthemi* (=Erwinia); *Ralstonia solanacearum* (=Pseudomonas solanacearum), esta última aunque se encuentra muy extendida, produce afectaciones muy severas y destructivas
- Los nematodos formadores de agallas pertenecientes al género *Meloidogyne*, las especies que aparecen con mayor frecuencia son *M. incognita*, *M. arenaria* y en fecha más reciente *M. mayaguensis* (Campos & Villain 2005); los barrenadores del género *Radopholus* (*R. similis*) y lesionadores del género *Pratylenchus* (*P. coffeae* y *P. brachyurus*).

NATURALEZA DE LAS INTERACCIONES Y RELACIONES ABAJO Y ARRIBA DEL SUELO

En líneas precedentes se destacó la necesidad de la comprensión de la naturaleza de las interacciones y relaciones de los organismos arriba y abajo del suelo, en su ambiente abiótico, para favorecer los procesos que aseguran el funcionamiento óptimo de los agroecosistemas. Sin ese conocimiento no será posible diseñar sistemas agroecológicos donde funcionen los principios que garantizan la sostenibilidad. Hacer lo contrario es “*dar palos a ciegas*”. Lo primero es conocer ¿cómo manejar lo que no se conoce?

Esta es la parte más difícil del asunto que tratamos aquí, pues las interacciones y relaciones entre los organismos vivos no siempre

son fáciles de visualizar, entender y comprender, entre otras cosas por la cantidad de componentes que intervienen en esta. Un asunto del que se habla poco cuando se trata el problema de las plagas tanto arriba como abajo del suelo es el de la forma en que las plantas se defienden; el conocimiento de los mecanismos de defensa de las plantas permitirá el establecimiento de prácticas que los favorezcan y la eliminación de aquellas que interfieren de forma negativa con estos.

De manera muy resumida se presenta lo esencial en relación con las defensas de las plantas ante el ataque de organismos nocivos. Las plantas están ancladas al suelo por la raíces, ante el ataque de una fitófago o patógeno no puede echarse a correr, en el sentido en que los humanos entendemos lo que es correr, pero tienen unas formas muy especiales de defenderse.

Las plantas utilizan miríadas de mecanismos de defensa, directa e indirecta, que logran protegerla; las defensas directas tienen que ver con la reducción del bienestar de los herbívoros y las indirectas con la atracción de sus enemigos naturales (Rosenthal & Janzen 1979). Las directas pueden ser de naturaleza fenológica, morfológica y químicas y las indirectas son químicas.

Defensas fenológicas. La fenología de la planta está relacionada con la calidad y cantidad de alimento, lo que puede comprobarse analizando el contenido de nutrientes de órganos jóvenes y comparándolo con el de órganos más viejos. Pongamos por caso las hojas, las hojas más jóvenes tienen en general más nutrientes que las hojas más viejas (Pfender 2004), de igual forma podría suceder con las raíces, las raíces más jóvenes podrían ser nutricionalmente superiores a las más viejas (Hunter 2008).

Defensas morfológicas. Se refieren a las características morfo-lógicas de las plantas que las protegen del ataque de los herbívoros, formando verdaderas barreras físicas que dificultan o impiden la alimentación, como la cutícula cerosa, que se puede apreciar muy bien en la col (*Brassica oleracea*) y los trichomas, en las hojas de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Defensas químicas. La defensa química tiene que ver con la producción por la planta de metabolitos secundarios

(Rosenthal & Janzen 1979, Kessler & Baldwin 2002). Se llaman metabolitos secundarios porque son compuestos que no son esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de la planta. La función principal de los compuestos secundarios es servir como defensas químicas contra patógenos y herbívoros. De alguna forma la emisión de dichos compuestos disminuyen la apariencia (preferencia por parte de los agentes nocivos) de las plantas, mediante la reducción de atrayentes, la producción de repelentes y de toxinas.

Las defensas indirectas. Las defensas indirectas tienen que ver con la atracción de los enemigos naturales: depredadores y parasitoides. Los compuestos secundarios juegan un papel fundamental es estas. Las plantas dañadas emiten compuestos volátiles que atraen a los enemigos naturales de los organismos que las atacan.

El daño de los herbívoros en las raíces dispara un mecanismo de defensa indirecto que se puede apreciar en partes de la planta que están encima del suelo (nótese la conexión abajo-arriba en la relación tritrófica algodón-gusano de alambre-hormiga). En un estudio realizado por Wäckers & Bezemer (2003) en plantaciones de algodón, atacadas por el gusano de alambre (*Agriotes lineatus*), se observó un incremento en la producción de néctar extrafloral, en 10 veces, en comparación con plantas sanas con las raíces intactas. El néctar extrafloral atrae hormigas, las cuales protegen a las plantas del ataque de los insectos herbívoros, tanto arriba como debajo del suelo.

Los nectarios extraflorales son glándulas productoras de azúcar (néctar) que no están en las flores, pueden encontrarse en diferentes órganos como: hojas, peciolo y tallos (Stadler & Dixon 2008). Este es un ejemplo de una relación mutualista entre plantas y hormigas, las plantas les ofrecen alimento y ellas las protegen de sus enemigos.

La producción de compuestos secundarios no se limita a los órganos de las plantas que están encima del suelo. Las raíces también producen compuestos secundarios que atraen

enemigos naturales. Las raíces atacadas por herbívoros excretan compuestos que atraen nematodos entomopatógenos; los cuales se encuentran entre los enemigos naturales más importantes de los insectos plaga habitantes del suelo (Rasman & Turlings 2007).

La plantas no solo producen compuestos para su defensa individual, ellas buscan la forma de avisar a sus vecinas de que están en riesgo de ser atacadas. Por ejemplo, las raíces de plantas de frijol infestadas con áfidos o ácaros rojos exudan una sustancia que después de alcanzar a sus vecinas coespecíficas no dañadas, induce en estas la emisión de atrayentes volátiles a depredadores y parasitoides. Es decir, la planta sana emite un llamado de aviso antes de ser atacada, lo que significa que esta es capaz de tomar medidas preventivas contra el incremento del riesgo de ataque por herbívoros (Schoonheven *et al.* 2005).

NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS Y RELACIONES TRÓFICAS

La nutrición de las plantas con fertilizantes nitrogenados, es hoy, una de las prácticas agrícolas que más discusiones levanta, pues se ha convertido en un asunto muy controversial. Y es normal que así ocurra, pues desde mediados de los años 40 del siglo pasado, una de las prácticas más comunes en la producción de los cultivos es la fertilización nitrogenada. Aportamos algunos elementos a esa discusión.

La nutrición del cultivo es un componente a manejar en la relación planta-organismo nocivo-enemigo natural. El crecimiento, sobrevivencia y reproducción de muchos herbívoros está limitado por la disponibilidad de nitrógeno (Mattson 1980), por lo que es de esperar que en los agroecosistemas con una elevada disponibilidad de nitrógeno en el suelo, y altas concentraciones en las raíces, se favorezca la herbivoría (Hunter 2008).

La fertilización es una práctica que, en general, no se relaciona con las plagas (Katan 1996), aunque desde hace cientos de años los agricultores aprendieron a relacionar los brotes de plagas con la pérdida de la fertilidad natural de los suelos. Es lamentable que

todavía hoy se continúe prestando escasa atención a la relación entre la nutrición del cultivo y los brotes de plagas. En Cuba, el estudio de estas interacciones está por hacer.

El estado nutricional de las plantas puede determinar su respuesta ante la presencia de plagas. Un estado nutricional óptimo confiere a las plantas determinadas condiciones y características físico-químicas que las protegen de un posible ataque de fitófagos. Entre esas condiciones y características están, según Palti (1981): aumento del vigor y crecimiento, cutícula y epidermis más gruesas, aumento de la lignificación de los tejidos, estímulo de reacciones de defensa, aumento de la tasa de crecimiento (se acorta el tiempo de los estados tempranos más susceptibles) y mejor economía del agua.

Los insectos herbívoros relacionan el contenido de nitrógeno de las plantas con su calidad (Jauset *et al.* 2000). En la literatura científica aparece documentado con amplitud el hecho de que el contenido de nitrógeno de la planta hospedante influye en la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de insectos y ácaros (Mattson 1980, Scriber 1986, Jauset *et al.* 2000, Stevens & Jones 2006).

Se han dado varias explicaciones a este fenómeno, entre las que está el hecho de que el nitrógeno afecta la defensa de las plantas, interrumpe o bloquea los mecanismos mediante los cuales éstas se protegen. Afecta tanto a las defensas directas como las indirectas, quiere decir esto que interrumpe los servicios de regulación natural de plagas que los enemigos naturales prestan ¿qué costo ambiental y económico tiene la interrupción de ese servicio? Esta es una poderosa razón para repensar antes de decidir aplicar elevadas dosis de fertilizantes nitrogenados, esto con independencia de todos los demás riesgos que dicha práctica conlleva.

REFERENCIAS

- ARS. 2001. Area Wide Pest Management of Corn Rootworm in Maize Production Systems—Agricultural Research Service 2001 Annual Report. USDA-ARS, Washington, DC, USA.

- Beemster ABR, Bollen GJ, Gerlagh M, Ruissen MA, Schippers B, Tempel A (eds.). 1991. Biotic interactions and soil-borne diseases. Proceedings of the First Conference of the European Foundation for Plant Pathology. Elsevier, Amsterdam.
- Blackshaw RP, Kerry BR. 2008. Root Herbivory in Agricultural Ecosystems. In: SN Johnson, PH Murray PH (Eds.). Root feeders: an ecosystem perspective: CAB International:35-53.
- Blossey B, Hunt-Joshi TR. 2003. Belowground herbivory by insects: influence on plants and aboveground herbivores. Annual Review of Entomology:48: 521–547.
- Campos VP, Villain L. 2005. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: M Luc, RA Sikora, J Bridge (Eds) Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture, 2nd ed. CAB International, Wallingford, UK: 529–579.
- Castellón M del C, Morales A, Morales L, Maza N, Rodríguez D, Fuentes H. 1997. Manejo integrado de *Cylas formicarius* Fab. en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lamk). p 71. En: Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Castellón MC, Fuentes H, García Y. 2010. *Typophorus nigratus* F, (Coleoptera: Chrysomelidae), un enemigo de las plantaciones de boniato (*Ipomoea batatas* L. Lam) en Cuba. Revista Agricultura Orgánica: 16: 1: 22-23.
- Castillo N (Coordinadora). 2011. Sanidad Vegetal. Tomo 3. Editorial Félix Varela. La Habana, 122 pp.
- CITMA. 2014. V Informe Nacional Convenio Sobre la Diversidad Biológica. República de Cuba. CITMA. La Habana, 276 pp.
- FAO. 2012. NIMF no 05 (2012), Glosario de términos fitosanitarios. Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias. FAO, Roma, 36 pp.
- Gullan PJ, Cranston PS. 2005. The Insects – an Outline of Entomology, 3rd edn. Blackwell Publishing, Oxford, 529 pp.
- Hernández J, Pérez-Consuegra N. 2012. Tendencias en el uso de plaguicidas en Batabanó, provincia Mayabeque. Agricultura Orgánica:18:1: 30-33.
- Hernández J. 2011. Evaluación de impacto y sostenibilidad de las prácticas fitosanitarias en el municipio Batabanó, provincia Mayabeque. Tesis Maestría en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas, Mayabeque, 84 pp
- Hunter MD. 2001. Out of sight, out of mind: the impacts of root-feeding insects in natural and managed systems. Agricultural and Forest Entomology: 3:3–9.

- Hunter MD. 2008. Root Herbivory in Forest Ecosystems. In: SN Johnson, PH Murray PH (Eds.). Root feeders: an ecosystem perspective: CAB International: 68-95.
- Jauset AM, Sarasúa MJ, Avilla J, Albajes R. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato. *Crop Protection*:19: 255-261.
- Jeger MJ. 2001. Biotic Interactions and Plant–Pathogen Associations. In: MJ Jeger, NJ Spence (ed). *Biotic Interactions in Plant–Pathogen Associations*:1-14.
- Johnson SN, Murray PJ. 2008. Introduction: Root Feeders – An Ecosystem Perspective. In: SN Johnson, PH Murray PH (Eds.). *Root feeders: an ecosystem perspective*: CAB International, xiii-xvii.
- Katan J. 1996. Cultural practices and soil-borne disease management. In: R. Utkhede, VK Gupta (eds.) *Management of soil-borne diseases*. Kalyani Publishers, New Delhi:100-122.
- Kessler A, Baldwin IT. 2002. Plant responses to insect herbivory. *Annals Review Plant Biology*:53: 299–328.
- Mattson WJ. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics*:11:119–161.
- Meneses R. 2008. Manejo integrado de los principales insectos y ácaros plagas del arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz. La Habana, 130 pp.
- MINAG. 2008. Resolución 604/2008. Lista de plagas cuarentenarias de la República de Cuba. Cuarentena Vegetal, Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. La Habana.
- Palti J. 1981. Cultural practices and infections crop diseases. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 243 pp.
- Pfender W F. 2004. Role of phenology in host susceptibility and within plant spread of stem rust during reproductive development of perennial ryegrass. *Phytopathology*:94:308–316.
- Ramírez F, Chaverri F, Cruz E, Wesseling C, Castillo L, Bravo V. 2009. Importación de plaguicidas en Costa Rica. Período 1977-2006. Informes Técnicos IRET 6. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica, 60 pp.
- Rasmann S, Turlings TCJ. 2007. Simultaneous feeding by aboveground and belowground herbivores attenuates plant-mediated attraction of their respective natural enemies. *Ecology Letters*:10:926–936.
- Rosenthal, G.A. and Janzen, D.H. (ed.) (1979). *Herbivores. Their interaction with secondary plant metabolites*. Academic Press, San Diego.
- Schoonhoven LM, van Loon JJA, Dicke M. 2005. *Insect-plant biology*. 2nd ed. New York. Oxford University Press, 440 pp.
- Scriber JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In:

- RD.Hack (Ed.), Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Madison, WI, 175–228.
- Southwood TRE. 1973. The insect/plant relationship – an evolutionary perspective. Symposium of the Royal Entomological Society of London 6, 3–30.
- Speight MR, Hunter MD, Watt AD. 2008. Ecology of Insects. Concepts and applications. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Ltd. Singapur, 641 pp.
- Stadler B, DixonAFD. 2008. Mutualism. Ants and their Insect Partners. Cambridge University Press, Cambridge, 229 pp.
- Stevens GN, Jones RH. 2006. Patterns in soil fertility and root herbivory interact to influence fine-root dynamics. Ecology:87: 616–624.
- Susilo FX, Neutel AM, van Noordwijk M, Hairiah K, Brown G, Swift MJ. 2004 Soil biodiversity and food webs. In: M van Noordwijk, G Cadisch, CK Ong (eds.) Below-ground interactions in tropical agroecosystems, concepts and models in multiple plant component systems. Wallingford, UK, Cambridge, MA, CABI Publishing: 285–307.
- Tindall KV, Stout MJ. 2001. Plant-mediated interactions between the rice water weevil and fall armyworm in rice. Entomologia Experimentalis et Applicata: 101, 9–17.
- Van der Putten WH, Vet LEM, Harvey JA, Wäckers FL. 2001. Linking above and below-ground multitrophic interactions of plants, herbivores, pathogens, and their antagonists. Trends in Ecology and Evolution:16:547–54.
- van Lenteren JC. 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. BioControl: 57:1-20.
- Wäckers FL, Bezemer TM. 2003. Root herbivory induces an above-ground indirect defence. Ecology Letters:6:9–12.

8

ALTERNATIVAS PARA REDUCIR LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN CUBA Y EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Riverol M G & Aguilar Y

*Instituto de Suelos, MINAG, La Habana, Cuba
Avenida costa- costa km 8 ½ Capdevila, Boyeros,
La Habana Apartado 8022,*

Email: mriverolr@yahoo.com.mx y yaguilar@ama.cu (537) 2029328

RESUMEN

El suelo es un componente esencial en el ecosistema y como tal de vital importancia en los servicios que presta, sin embargo la degradación de este recurso a nivel global es creciente. La erosión de los suelos es el principal procesos de degradación origen antrópico que afecta a los suelos a nivel global y en Cuba alcanza el 40% pudiendo alcanzar hasta 56 % según la susceptibilidad de estos. Este proceso, provoca que se alteren las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, las cuales a su vez afectan la productividad del agroecosistema. Adquiere una singular importancia la ocurrencia de eventos extremos, su alta probabilidad de incidencia debido al cambio climático y las afectaciones en las tierras cultivables. El desarrollo de políticas y programas que enfrenen esta problemática permite la recuperación de áreas afectadas, reducir los daños ambientales y la capacidad productiva de los agroecosistemas, tal es el caso del Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de los Suelos con la aplicación de medidas sencillas tanto de carácter permanente como temporal. Como resultado de la implementación de este Programa se han beneficiado más de 800 000 ha en Cuba. La aplicación de prácticas integrales como base para el desarrollo de una agricultura agroecológica, reducen las pérdidas de suelos hasta los límites permisibles entre 3 y 5 t.ha.año⁻¹ con una reducción del coeficiente de escurrimiento hasta un 12%, potenciando la capacidad del suelo para la captura y retención del carbono.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente esencial en el ecosistema y como tal de vital importancia en los servicios que presta, sin embargo la degradación de este recurso a nivel global es creciente. En la actualidad existe un incremento sostenido en la demanda de los servicios ambientales, que conduce a un deterioro de los recursos naturales en especial el suelo, según (Hartemink 2007) con el crecimiento de la población, las amenazas son numerosas y bien documentadas e incluyen la pérdida de materia orgánica y de fertilidad, erosión, contaminación, pérdida por el desarrollo urbano, pérdida de la función productiva del suelo y de servicios como almacenamiento de agua y el ciclo de nutrimentos. A esto se une el cambio climático que es otro aspecto que influye significativamente y que podría conducir a reducciones drásticas en la disponibilidad de tierras agrícolas (Pichs *et al.*, 2002). Dada esta situación urge establecer sistemas productivos amigables que además de satisfacer las demandas de alimento contribuya a la sostenibilidad de los agroecosistemas y su resiliencia. La implementación de prácticas de manejo sostenible es una opción que contribuye no solo a la reducción de la degradación de las tierras sino además a mitigar los efectos del cambio climático. A través de este trabajo se pretende dar una visión de la degradación de los suelos, así como las medidas a adoptar para reducir el impacto negativo de estos procesos, y la influencia del cambio climático.

LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

El suelo es considerado un recurso natural, no renovable en la escala de tiempo de la vida humana (Hartemink 2007). Bennett, 1939 (citado por colegio de postgraduado Chapingo 1977) estimó que bajo condiciones naturales sin disturbio de la vegetación, se necesitan cerca de 300 años para producir una capa de 25mm de suelo superficial; sin embargo, cuando existe alteración de suelo, por el laboreo, pastoreo, etc., se acelera el interemperismo y el

período de formación se reduce a alrededor de 30 años (Hudson 1971). Esto significa que se necesitaría alrededor de 400 años para que el suelo sea suficiente para constituir tierras productivas, por lo que su protección y rehabilitación es indispensable para garantizar los servicios ambientales que presta a la humanidad.

Existen varias causas que provocan la degradación de los suelos de origen antrópica. El proyecto GLASOD (Evaluación Global de la Degradación del Suelo), identificó cuatro procesos de degradación: por erosión hídrica y eólica, degradación química y física del suelo. Los resultados mostraron que el mayor porcentaje de tierras afectadas corresponde a la ocasionada por la erosión hídrica (56%), seguido por la erosión eólica (28%). Es decir, la erosión abarca el 84% de la degradación de los suelos a nivel mundial. Entre los principales factores que causan la erosión hídrica se encuentran, la deforestación, el sobrepastoreo y el mal manejo de los suelos (Oldeman *et al.*, 1992).

La degradación de los suelos en Cuba proviene desde el siglo XIX. En 1812 el país contaba con una superficie boscosa de alrededor del 89% cuando comenzó la deforestación. La tala indiscriminada de árboles para la construcción, la extensión de las áreas cañeras y la ganadería provocaron las pérdidas de grandes extensiones boscosas (FMAM, 2005). En el año 1959, al triunfo de la Revolución el área cubierta de bosques era aproximadamente del 14%, lo cual significa que en un periodo de 147 años se deforestó aproximadamente el 75% de los bosques en Cuba (Marrero *et al.*, 2006). Además, según Funes (2008), con la Revolución Verde se intensificaron los procesos de degradación.

PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN CUBA

Los estudios realizados por el Instituto de Suelos 1989 reportan que la erosión entre fuerte a media, ocupa una extensión de 2,9 MMha, la salinidad y sodicidad, las áreas afectadas se encuentran alrededor de 1 MMha, la compactación con 1,6 MMha, la pérdida de materia orgánica y la fertilidad con alrededor de 4,7 MMha, y 3,00 MMha respectivamente y la acidez con un total de 3,4 MMha

afectadas, entre otras (Riverol *et al.*, 2001). Todo lo anterior influye en que el 70% de la superficie agrícola (6,6 MM de ha) están afectados por procesos de degradación y así se reconoce entre los cinco problemas ambientales identificados en la Estrategia Medioambiental Nacional (Gaceta Oficial - 18 de abril de 2007).

Entre los principales procesos de degradación de los suelos en Cuba se encuentra la erosión hídrica, ocupando el 40% (Pérez *et al.*, 1990) y si se refiere a la erosión potencial, alcanza el 56% (Riverol 1985), lo cual es alarmante en un país con alta presión demográfica ya que este proceso afecta directamente los rendimientos agrícolas. La erosión provoca que se alteren las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, las cuales a su vez afectan los procesos que regulan la productividad del agroecosistema. Se reducen las reservas de agua utilizables por las plantas y materia orgánica, (Hartemink 2007) así como la capacidad del suelo en la captura de carbono, en muchos casos la erosión provoca otros daños ambientales con el obstrucción de los cauces y embalses (Amore *et al.*, 2004). La erosión es entonces un doble desastre: un recurso vital desaparece de donde es necesitado y es depositado donde es totalmente indeseado (National Research Council. 1993.).

El desarrollo de la agricultura cubana desde 1959 hasta 1990 se basó en una gran disponibilidad y uso de maquinaria, fertilizantes químicos y pesticidas (Funes 2009). Este fenómeno, afectó tanto a la agricultura dedicada a la exportación, como a la destinada al consumo interno, una dependencia en los productores, de que solo sobre la base de altos insumos y elevada mecanización se pueden obtener producciones altas.

Desde el comienzo del “Período Especial” la agricultura cubana ha tenido que experimentar una profunda transformación en sus sistemas productivos, pasando a un modelo agroecológico, a partir de la producción y aplicación de abonos orgánicos, biofertilizantes, controladores biológicos, el uso de variedades resistentes a diferentes condiciones, entre otras, las cuales permitieron impulsar la producción de alimentos. Estas prácticas agroecológicas desarrolladas y empleadas durante los últimos

años, han constituido sin duda una alternativa viable y sustentable con beneficios ambientales.

El Estado Cubano siempre ha establecido prioridad en la protección del medio ambiente y así se manifiesta en el Artículo 27 de la Constitución de la República, así como en el desarrollo de normas legales, tales como la Ley de Medio Ambiente y el Decreto 179 sobre la protección, el uso y la conservación de los suelos. A esto se une el desarrollo de Programas Nacionales que directa o indirectamente promueven la protección del suelo entre los que se encuentran: El Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de los Suelos (PNMCS), El Programa Nacional de Desarrollo Forestal, El Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, entre otros. A través de estos programas se han promovido e implementado prácticas que protegen los recursos naturales, así como su uso sostenible.

PROGRAMA NACIONAL DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN D ELOS SUELOS

Los primeros trabajos de conservación y mejoramiento de los suelos se iniciaron en la década del 80, alcanzándose los mayores niveles de ejecución de medidas en el período 89-92. En este período se invertían en la elaboración y ejecución de proyectos para medidas permanentes más de 30 millones de pesos entre la agricultura y la caña de azúcar. La depresión económica de la década de los 90 provocó la paralización de las medidas de carácter permanente que se venían ejecutando en el contexto del Programa de Conservación, Mejoramiento y Rehabilitación de los suelos, esto provocó entre otras causas que los procesos de degradación se intensificaran.

También en década de los 80 se desarrollan una serie de trabajos que abarcaron estudios de selección de cultivos para ser utilizadas como abonos verdes, estudio de la resistencia antierosiva de los suelos, diagnóstico y clasificación de suelos erosionados, particularidades de los procesos erosivos, labranza antierosiva de los suelos, y otros. Estos estudios se llevaron a cabo

en parcelas de escurrimientos y segmentos de microcuencas en varias regiones del país. Los resultados posibilitaron determinar la influencia de los diferentes factores que inciden en el proceso de erosión, validar la efectividad de diferentes prácticas, agronómicas y culturales en el control de este proceso. A partir de lo anterior se sentaron las premisas para la organización de los sistemas antierosivos que se elaboraron principalmente en las regiones occidentales y centrales del país como base para el desarrollo de una agricultura agroecológica.

En el año 2000 en cumplimiento de un acuerdo del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas y en el marco del Programa de Lucha contra la Desertificación y la Sequía teniendo en cuenta la problemática que se presentaban en los suelos respecto a su degradación y su relación con la baja productividad de los cultivos, se orientó la creación del Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (PNMCS), bajo el auspicio del Ministerio de la Agricultura (MINAG) y del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), con la participación de diferentes organismos del país.

Este programa contempla la ejecución de un conjunto de medidas de forma integral para detener los procesos degradantes del suelo y comenzar la recuperación paulatina de los mismos. Estas están contenidas en un plan de acción que contempla medidas de tipo temporal y permanente, medidas de acondicionamiento y mejoramiento del suelo. Además se incluye el monitoreo del agua para el riego, así como la capacitación y la asistencia técnica (Riverol *et al.*, 2001). El Programa dispone de un presupuesto anual asignado por el Estado con un desembolso acumulado de 200 MM de pesos aproximadamente y dirigido fundamentalmente a financiar la implementación de las medidas de conservación y mejoramiento de suelo, siendo los productores los principales beneficiados.

Desde el establecimiento del PNMCS se han priorizado las medidas sencillas antierosivas, tanto temporales como permanentes, la aplicación de abonos verdes y orgánicos, medidas de acondicionamiento, drenaje y monitoreo de las aguas de riego.

Estas medidas sencillas contribuyen a mitigar los procesos de degradación de los suelos de mayor interés en Cuba por su impacto negativo y su extensión territorial.

Las medidas temporales que se implementan constituyen la base fundamental para la conservación de los suelos, al abarcar el conjunto de medidas orientadas, fundamentalmente, a prevenir los procesos de degradación. Ellas constituyen un aspecto primario y de obligatoria ejecución para que ese conjunto de medidas, rindan la efectividad deseada. Entre las que más se destacan, se encuentran la siembra en contorno que contribuye a controlar los escurrimientos, resultando en un mejor aprovechamiento de las aguas de lluvia y de riego; al mismo tiempo que evitan la erosión; el manejo de las coberturas y la aplicación de abonos orgánico. La aplicación de estas últimas son de las acciones que se acometen para mitigar la pérdida de fertilidad de los suelos. El incremento de la producción y aplicación de abonos orgánicos, para lo cual se ha desplegado un fuerte movimiento en todo el país, ha permitido, producir alrededor de 20 000 000 t anuales.

A través del PNMCS se ha estimulado el uso de las plantas de coberturas y abonos verdes, teniendo en cuenta el doble propósitos de las mismas, protector y mejorador de suelos. Las plantas de coberturas mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y su vez reducen los riegos de erosión y la compactación del suelo. En este sentido se ha fomentado también uso de los cultivos asociados, tal es el caso del maíz+leguminosa, una de las más utilizadas en Cuba (Riverol *et al.*, 2007). En estos casos se obtiene una cobertura óptima a los 60 días, momento en que coincide con el período de mayor incidencia de las lluvias intensas en nuestro país, teniendo en cuenta que la época de siembra del maíz comienza en mayo.

Cuando el suelo se encuentra cubierto con plantas o residuos de plantas, la masa vegetal intercepta la energía de las gotas que caen, las cuales se escurren lentamente hasta la superficie del suelo donde infiltran rápidamente (Unger 1996).

En Cuba los acumulados anuales promedio de las lluvias alcanzan alrededor de 1 296 mm en el cual se define de dos períodos, uno

lluvioso (mayo – octubre) donde ocurre el 76% de las lluvias y otro “menos lluvioso” (noviembre – abril) con el 24 (Cutié & Lapinel. 2013). La intensidad de la lluvia en 30 minutos en ocasiones pueden alcanzar valores de 40 mm.h^{-1} y hasta 80 mm.h^{-1} , según estudios realizados en la región occidental (Aguilar *et al.* 2010), ello significa según Hudson (1971) que poseen características erosivas. Este comportamiento de las precipitaciones con “picos” en volúmenes e intensidades ocasionalmente coincidentes, incrementan considerablemente la erosividad de la lluvia, lo cual dificulta la planificación de una estrategia precisa para el manejo de las coberturas como única forma de protección de la tierra, por lo que se necesita apoyar estas prácticas vegetativas con el establecimiento de medidas con carácter permanente.

Las medidas permanentes aplicadas a través de Programa están dirigidas a reducir la erosión hídrica, por cuanto, impiden la pérdida de suelo y agua, además son una guía permanente para el trazado de la surquería en los campos de cultivo. Entre las medidas de mayor uso se encuentran la construcción de barreras vivas y muertas, bordos de desagüe, construcción de tranques, construcción de terrazas con arado y otras. Durante la implementación del PNMC en alrededor de 70 000 ha como promedio anuales según ONE 2013 se aplican las medidas permanentes.

Estudios realizados en Segmentos de Microcuencas (SMC) hidráulicamente bien delimitadas, dotadas de equipos de medición de escurrimientos tanto líquidos como sólidos en condiciones de producción mostraron resultados importantes para el control de la erosión bajo diferentes sistemas de manejo. La aplicación (cuadro 1) de un sistema convencional de labranza con surcado transversal a la mayor pendiente no es suficiente para el control de la erosión, produciéndose pérdidas de suelo superiores a los niveles permisibles $3\text{-}5 \text{ t.ha.año}^{-1}$ según Riverol, 1985, aún cuando las condiciones topográficas son moderadas ($< 5 \%$ de pendiente) en los SMC N° 2 y N° 9.

Los sistemas antierosivos reducen el nivel de erosión prácticamente en un 50% en SMC con pendientes que en ocasiones

duplican el gradiente, incluso teniendo un mismo uso agrícola, lo cual se puede observar haciendo un análisis comparativo de los registros en los segmentos N° 2 y 3 con uso agrícola (maíz – frijol), así como en los segmentos N° 1 y 9 con uso agrícola barbecho – tabaco. En general, destaca el papel de los bordos de desagüe en el control de la erosión, particularmente cuando se protegen con leucaena en el camellón, lo cual contribuye a lograr una mayor y más rápida estabilización de los mismos. Esta medida conjuntamente con la utilización del cultivo del maíz en asocio con leguminosa y la técnica de la labranza mínima redujeron las pérdidas de suelo hasta $4,7 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ en terreno con pendiente de 9%, lo cual es significativo al considerar la agresividad del régimen pluvial y el uso agrícola.

Los bordos de desagüe (foto 1) son estructuras permanentes de relativa fácil ejecución a través del uso de arados de vertederas o de discos. El bordo desagüe consiste en el levantamiento de un camellón en contorno, el cual posee un canal colector aguas arriba. La altura y ancho del camellón debe alcanzar los 45 y 50 cm respectivamente, con una longitud máxima de 200 m, la pendiente del bordo del 0,5% y el canal colector de 35 cm de profundidad y 45 cm de ancho. Con un canal para drenaje (empastado) de 50 cm de profundidad y 70 cm de ancho. Se recomienda establecerlos en suelos susceptibles a la erosión con pendientes entre 3 y 15% (Riverol *et al.*, 1998).

El trazado de la surquería siguiendo los contornos es una medida sencilla, sin embargo en condiciones de producción cuando los campos de cultivos presentan varias exposiciones de pendiente, su ejecución se torna complicada y con frecuencia se realiza de forma incorrecta, una prueba de ello es que Riverol *et al.*, (1998) observaron pérdidas entre $50 - 60 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}$ en campos típicos de productores. Estos resultados reafirman la necesidad de aplicar medidas con carácter permanente como los bordos de desagüe que por demás constituyan una guía para el trazado de la surquería y eviten los errores relacionados con la dirección del laboreo.

Cuadro 1 Erosión bajo diferentes usos de la tierra en SMC en la región tabacalera de Pinar del Río. Volumen de precipitaciones de 1572 mm promedio de 3 años

Nº	SMC		Medidas de control	Rotación anual	Erosión (promedio tres años)	
	Pend. (%)				Esc (%)	Suelo (kg.ha ⁻¹)
2	4,5		Tratamiento tradicional Surcado transversal a la mayor pendiente	Maíz – frijol	36	8 871
3	9		Labranza mínima Surcado en contorno Bordos de desagüe protegido con leucaena	Maíz + leguminosa – frijol	27	4 727
1	7		Labranza mínima Surcado en contorno Bordos de desagüe	Barbecho – tabaco	24	4 807
9	4		Tratamiento tradicional Surcado transversal a la mayor pendiente	Barbecho – tabaco	27	7 438

Las medidas de acondicionamiento están encaminadas a conservar y mejorar, fundamentalmente, las propiedades físicas de los suelos, logrando un acondicionamiento deseado para el desarrollo de los cultivos, a través de la disminución de las labores de preparación, la subsolación, la recogida de piedras, la nivelación y otras. Con esta práctica se benefician alrededor de 200 M ha anuales.

La ejecución de medidas encaminadas al drenaje mayor, el parcelario y el drenaje sencillo, han contribuido a la organización del territorio, al evitar el empantanamiento y la salinización secundaria de los suelos. El incremento de estas medidas, se ha visto más marcado en las cuencas hidrográficas de mayor interés en el país, dado el nivel de explotación y de la importancia que tiene para contrarrestar los procesos degradativos. Las medidas de drenaje simple, contribuyen a evitar la disminución de los rendimientos de cultivos, por encharcamientos, así como a disminuir los procesos de salinización y pérdida de la actividad biológica de los suelos.

El análisis de las aguas de riego, con el objetivo de prevenir la salinidad secundaria de los suelos, nos permite determinar las medidas de manejo adecuado de las aguas. El monitoreo se ha mantenido a un nivel aceptable, con el muestreo a más de 2 000 fuentes de agua para la agricultura.

La implementación de prácticas integrales tanto temporales como permanentes tiene un efecto positivo en la detención del proceso acelerado de la degradación de los suelos. En el caso de la erosión, que constituye el proceso de mayor importancia en el país, se logra estabilizar las áreas en un periodo relativamente corto. Ello se observa a través de la modificación de los gradientes de pendiente con el efecto fundamental de las medidas de carácter permanente. Resulta evidente que la estabilización de los agroecosistemas es un proceso paulatino que se fundamenta en la ejecución del sistema de medidas sencillas. Según Riverol (1999) las pérdidas de suelo bajo este sistema se reducen a límites permisible, que oscilan entre 3 y 5 t.ha.año⁻¹, y el coeficiente de escurrimiento, puede reducirse hasta un 12% por concepto de la integración de medidas sencillas: labranza mínima, siembra en

contorno, bordos de desagüe protegidos y cultivo de maíz en asocio con leguminosas, y otros.

De manera general se observa un incremento en la aplicación de prácticas sencillas para reducir la degradación de los suelos (figura 1). A través del PNMCS se han beneficiado 805 000 ha, según ONE 2013 lo que significa que se aplicó al menos el 75% de las medidas necesarias para contrarrestar los principales factores limitantes o procesos degradantes presentes en el suelo. Este concepto nos permite valorar o cuantificar las áreas agrícolas y forestales en las que se ha intervenido a nivel nacional, priorizándose en las cuencas hidrográficas, base fundamental para la producción agrícola del país.

Miles de hectáreas

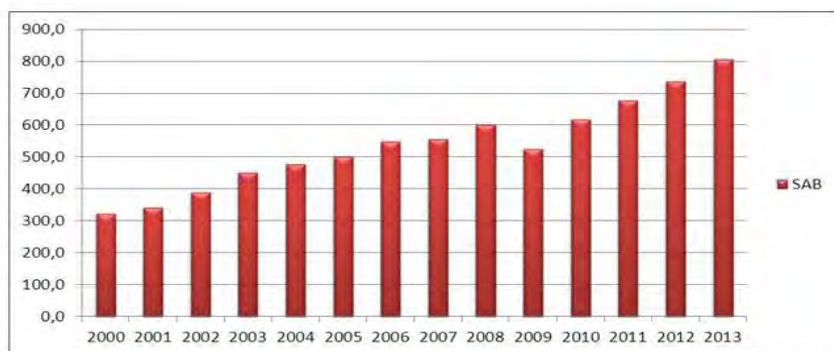


Figura 1. Distribución anual del Superficie Agrícola Beneficiada (SAB)

EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE UNA AGRICULTURA DE ALTOS INSUMOS A UNA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los estudios realizados en Cuba han demostrado la existencia de variaciones importantes del clima en el país y la región. Tendencias significativas al aumento de la temperatura media anual del aire en el orden del 0,5 °C y pudieran alcanzar magnitudes

entre 1,6 °C y 2,5 °C para el año 2100. A esto se une el incremento en la frecuencia de afectaciones de eventos climáticos extremos, como las lluvias intensas y las tormentas locales severas, así como los eventos de sequía, los cuales también su frecuencia se ha incrementado significativamente. En el caso del nivel del mar, estos indican incrementos en el orden de 8 a 44 cm para el 2050 y de 20 a 95 cm para el 2100 (Pichs *et al.*, 2002).

Uno de los eventos meteorológicos más nocivos conocidos en el planeta es la sequía. Este fenómeno, si bien constituye una afectación climática extrema que la sociedad ha enfrentado tradicionalmente, en los últimos decenios su acrecentada influencia ha dado lugar a que se le considere como “uno de los mayores desastres naturales del mundo, el más frecuente y persistente, de mayores efectos negativos para la producción agrícola, como también de impactos adversos reales sobre el medio ambiente” (UNCCD).

La sequía puede afectar el suelo desde el punto de vista físico-químico pues la disminución del agua en el suelo afecta la estructura la cual puede degradarse y afectar la capacidad de retención de humedad y de nutrientes, así como la conductividad hidráulica que puede provocar la concentración de sales y con ello la afectación a los cultivos. Otro aspecto que influye esta dado en la mineralización acelerada de la materia orgánica, aspecto este de suma importancia para el desarrollo de los cultivos.

Las intensas lluvias son otros de los eventos extremos que afectan a los ecosistemas y en el caso del suelo incrementa significativamente el proceso de erosión hídrica y los daños que este fenómeno ocasiona, explicado anteriormente. Diferentes autores han reportado pérdidas superiores a las 20 t.ha⁻¹ cuando no se aplican medidas para la conservación del suelo frente estos eventos. Aguilar *et al.*, (2001) reportan pérdidas superiores a las 30 t.ha⁻¹.año⁻¹ en los suelos Pardo Sialíticos del Norte de La Habana, a pesar de la alta resistencia antierosiva de estos suelos.

De lo anterior se deriva la importancia de desarrollar un enfoque más integral para el manejo de los suelos y el agua con la introducción de prácticas de agricultura de conservación funda-

mentalmente en las áreas de cultivos varios, por ser estas las más susceptibles a ser degradadas.

Las prácticas de conservación y mejoramiento de suelos que se aplican a través del PNMCS contribuyen a elevar la captura de carbono al incrementar la aplicación eficiente de los abonos orgánicos y verdes, el manejo de la cobertura, la reducción de la erosión y otros procesos de degradación del suelo. La cantidad de carbono que puede ser capturada por medio de la rehabilitación de tierras degradadas será, importante en áreas donde es técnica y socio-económicamente una opción viable. Los beneficios adicionales relacionados incluirán el mejoramiento de las propiedades químicas, la biodisponibilidad de elementos -mayor fertilidad- y la resiliencia contra la degradación física, especialmente de la erosión. Por lo tanto, el secuestro de carbono contribuirá a restaurar la calidad de los suelos degradados.

CONCLUSIONES

- La implementación del PNMCS ha contribuido a la rehabilitación y mejoramiento de los suelos agrícolas fuertemente afectados por los procesos degradativos y su reincorporación al proceso productivo, así como reducir los daños ambientales tales como azolve de presas, contaminación de embalses, manto freático y otras derivadas de los procesos degradativos.
- La aplicación de prácticas integrales como base para el desarrollo de una agricultura agroecológica que incluyan la labranza mínima, el manejo de la cobertura, la aplicación de abonos orgánicos y las medidas antierosivas de carácter permanente, reducen las pérdidas de suelos hasta los límites permisibles entre 3 y 5 t.ha.año⁻¹.
- El manejo de las coberturas permite reducir el impacto de las gotas de lluvias, las cuales alcanzan intensidades de 80 mm.h⁻¹ y contribuyen a la infiltración del agua en el suelo.

REFERENCIAS

- Aguilar Y, Ruiz J, Riverol M, Ponce D, Cabrera E. 2010. El manejo de las coberturas como base fundamental para mitigar el efecto de los eventos extremos. En: Ciencias Ambientales. Temáticas para el desarrollo. Vol. IV. . Dirección de fomento editorial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Pp 41 - 52. ISBN 978 607 7541 400.
- Aguilar Y, Castro N, Peña F, Riverol M. 2001. Cuantificación de la erosión y medidas para su control y estabilización en la finca La Rosita al norte de la provincia de la Habana. En XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Boletín No 4. 195p ISSN 1609-1876 (C.D)
- Amore E, Modica C, Nearing MA, Santoro VC. 2004. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. *Journal of Hydrology* 293. 100-114.
- Colegio de postgraduados de Chapingo. 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. 599 pp.
- Cutié V, Lapinel B. 2013. La sequía en Cuba, un texto de referencia. ISBN 978-959-300-053-6. Agencia de Medio Ambiente, Instituto de Meteorología. Cuba 358 pp.
- Funes-Monzote FR, Funes F. 2009. La agroecología en Cuba: su desarrollo y situación actual. *Agroecology in Cuba. Rev. Bras. de Agroecologia*:4: 2.
- Gaceta oficial de la República de Cuba. (2007). Edición Ordinaria, No 30, ISSN 1682-7511, p459-510
- HarteminkAE. 2007 El Futuro de la Ciencia del Suelo, IUSS Intenational Union of Soil Science, PO BOX 353, 6700 AJ Wageningen, The Netherlands 161pp
- Hudson N. 1971. Soil Conservation, Betsford, Londres
- Instituto de Suelos. 1989. Mapa de Suelos escala 1: 25 000
- Marrero A, Riverol M, Aguilar Y. 2006. El suelo, el agua y el manejo forestal. Editorial Agrinfor MINAG. ISBN 959-246-190-2. 82 pp.
- Nacional Research Council. 1993. Vetiver Grass: A thin green line against erosion. National Academy Press, Washington D.C
- Oldeman, LR, Hakkeling RTA, Sombroek WG. 1992. World map of the status of human-induced land degradation: an explanatory note. Wageningen, ISRIC.
- ONEC. 2013. Oficina Nacional de Estadísticas Cuba. 2014. Panorama del uso de la tierra. Cuba.
- ONEC. 2013. Oficina Nacional de Estadísticas Cuba. 2014. Panorama ambiental de Cuba.

- Pérez, J M, Suárez ED, Ancizar A, Vega E, Azcuy M. 1990. Mapa de erosión actual de los suelos escala 1: 250 000. Instituto de Suelos.
- Pichs R, Centella A, Llanes J. 2002. Mitigación del cambio climático. Documentación para participantes en el taller de divulgación de los resultados del Grupo de Trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático. INSMET, Habana p130.
- Riverol M, Alfonso CA, Cabrera E, Porras E, Hernández, J M, Llánez JM, Otero A, Castro N, Peña F, Hernández C, León G. 1998. Bordos de desagüe una tecnología para reducir las pérdidas de suelo. PROFIJOL Boletín No 1 Instituto de Suelos. MINAG
- Riverol M, Castellano N, Peña F, Fuentes F. 2001. Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de los Suelos. AGRINFOR. Ministerio de la Agricultura. ISBN 959-246-042-6. La Habana. 39 pp
- Riverol M, Peña F, Cabrera E et al. 2007. Tecnología integral para el manejo de suelos erosionados. Instituto de suelos MINAG Cuba. Folleto. 39pp
- Riverol M et al. 2001. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación del Suelo. AGRINFOR. MINAG, La Habana, Cuba. ISBN 959-246-042-6. 39 p
- Riverol M. 1985. La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapificación. Tesis para optar por el grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. 120 pp
- Unger P. 1996. Common soil and water conservation practices. Part III: Soil Conservation In: Soil erosion, conservation and rehabilitation. Edited by Agassi M. ISBN 0-8247-8984-9 Soil Erosion Research Station. Soil Conservation and Drainage Division Ministry of Agriculture. Emek-Herfer. Israel. 401 pp.

9

DISEÑO Y MANEJO AGROECOLÓGICO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Luis L. Vázquez Moreno

*Calle Serafines N° 65, Santos Suarez, Diez de Octubre,
La Habana, Cuba.*

Email: llvazquezmoreno@yahoo.es (537) 6494033

RESUMEN

El diseño y manejo agroecológico de sistemas de producción agropecuaria constituye un nuevo enfoque metodológico para la transición hacia la agricultura sostenible, que se basa en los principios de la agroecología y se apoya en procesos de innovación, considerando las tradiciones y experiencias de los agricultores. El objetivo es rediseñar sistemas de producción, cultivo y ganadería multifuncionales, que adquieran una alta eficiencia productiva, económica, energética, ecológica y social. El presente capítulo constituye una síntesis que sistematiza experiencias prácticas y algunos resultados científicos, de manera tal que los interesados tengan una panorámica del diseño y manejo agroecológico como parte del proceso de reconversión de la agricultura. Se informan los principales diseños y manejos que se realizan en el sistema de producción, agrupados en: (1) integración agricultura, ganadería, forestería, (2) integración de la vegetación auxiliar, (3) manejo y conservación de recursos naturales, (4) manejo de las intervenciones para la nutrición y la sanidad. Todos bajo un enfoque holístico, que considera diferentes niveles de integración, principalmente los elementos de la biodiversidad, los sistemas de cultivo y ganadería, los subsistemas o unidades de manejo y el sistema de producción. Durante todo el capítulo se hace énfasis en las funciones que se deben lograr con los diferentes diseños y manejos, como base para entender el enfoque agroecológico, otorgándose gran importancia a la biodiversidad funcional, definida como las especies, grupos, diseños y manejos que, al estar integrados, constituyen un conjunto de caracteres funcionales en favor de la eficiencia del sistema de producción.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agropecuaria (SPA) convencionales explotan una o varias especies de plantas o animales en sistemas de cultivo y ganadería especializados y de grandes extensiones, mediante tecnologías con predominio de mecanización e insumos químicos, que causan externalidades negativas; en cambio, los sostenibles con base agroecológica integran diversidad de especies de cultivos, animales y árboles, mediante diseños complejos, en campos de diferentes dimensiones, para favorecer multifunciones que reducen prácticas degradativas e insumos externos, así como aumentan servicios ecológicos.

Estos dos enfoques productivos contrastantes, que generan conflictos de intereses, definen la actitud de las personas que deciden y administran las tierras, los primeros actúan como “productores”, lo que significa producir a toda costa, y los segundos como agricultores, es decir, producir y conservar los recursos naturales.

La propuesta científica, tecnológica y social para lograr una agricultura sostenible es la agroecología, que según Altieri (2010), emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que sean productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, sean culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables.

El objetivo 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 (Altieri, 2010) y constituye un nuevo paradigma en la gestión de la producción agrícola y pecuaria, ya que se adoptan los principios de la agroecología a diferentes escalas, lo que significa transitar paulatinamente hacia la sostenibilidad de la producción y el aumento de la capacidad de autogestión.

Sin embargo, debido a la percepción convencional de la mayoría de los actores involucrados, dicho proceso se enfrenta a obstáculos que limitan su eficiencia, a la vez que se propician interpretaciones

erróneas de lo que se quiere lograr con la sostenibilidad; por ello, el presente capítulo tiene el objetivo de contribuir a entender y actuar sobre la reconversión agroecológica de sistemas de producción agropecuaria.

CONTRIBUCIÓN DE LA AGROECOLOGÍA Y LA BIODIVERSIDAD

La agroecología es una ciencia compleja y transdisciplinaria, que integra la Agronomía, Ecología, Economía y Sociología, así como los conocimientos tradicionales y experiencias de técnicos y agricultores, que mediante procesos de innovación basados en principios, permite lograr formas tecnológicas contextuales, que contribuyan a la producción agropecuaria sostenible, la soberanía y la resiliencia ante eventos externos.

Los principios de la agroecología constituyen una guía básica para el proceso de reconversión y son los siguientes (Altieri, 2010): (1) Aumentar el reciclaje de biomasa, con miras a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo; (2) proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, en particular mediante el manejo de la materia orgánica y el mejoramiento de la actividad biológica del suelo; (3) fortalecer el sistema inmunológico de los sistemas agrícolas, mejorando la biodiversidad con funciones de regulación natural de organismos nocivos; (4) minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos, mejorando la conservación y regeneración de suelos, recursos hídricos y la diversidad biológica agrícola; (5) diversificar las especies y recursos genéticos en el agroecosistema en el tiempo y el espacio a nivel de campo y paisaje; (6) aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la biodiversidad agrícola, promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Esta ciencia estudia el agroecosistema como un todo (holísticamente) y se considera a este como un sistema complejo (Griffon, 2008a), lográndose un acercamiento integral a los procesos que

se dan en el mismo y de esta manera, superar la aproximación simplista de la agricultura industrial (Altieri & Nicholls, 2000).

Un sistema complejo puede ser descrito como un sistema compuesto de múltiples elementos que interaccionan de múltiples formas, en que muchas propiedades dependen de dichas interacciones (Sole & Manrubia, 1996) y se conocen como propiedades emergentes (Sole & Goodwin, 2001), de lo cual la estabilidad (homeostasis) de un agroecosistema es un ejemplo clásico y no depende solamente de la identidad de los componentes de la biodiversidad (Odum & Sarmiento, 1998).

Bajo esta perspectiva surge el concepto de diversidad funcional (Díaz & Cabido 2001; Tilman, 2001), que ha ido ganando cada vez más popularidad entre la comunidad científica dedicada al estudio de la biodiversidad, dados sus estrechos vínculos con los procesos ecológicos, pues comúnmente se ha relacionado más el funcionamiento de los ecosistemas con la riqueza de especies; no obstante, esta aproximación ha resultado insuficiente y, hoy en día, la atención se vuelca hacia un enfoque más funcional, que trata de establecer relaciones causales entre las características de los organismos presentes y los procesos y servicios de los ecosistemas (Hooper *et al.*, 2005 y Díaz *et al.*, 2005). Por tanto, el conjunto total de caracteres funcionales, así como su abundancia en una comunidad, es uno de los principales determinantes del funcionamiento de los ecosistemas (Chapin *et al.*, 2000).

La diversidad tiene varios componentes correlacionados, entre los cuales se encuentran el más ampliamente reconocido, medido por el número de especies presentes en un hábitat, al cual llamamos riqueza o diversidad de especies, y un segundo componente, llamado diversidad funcional, el cual es medido por el rango de atributos de las especies en un hábitat dado (Tilman, 2001).

En los agroecosistemas la biodiversidad funcional está integrada en varios componentes (figura 1), cuyos elementos son los que maneja el agricultor (Vázquez, 2013a), a saber: (1) biodiversidad productiva (las especies de plantas y animales productivos, que pueden ser especies mejoradas introducidas, especies autóctonas o adaptadas); (2) biota auxiliar (las especies de plantas y animales

que habitan o se introducen en el sistema, pero que no cumplen funciones productivas y pueden ser manejadas para favorecer servicios ecológicos u otros); (3) biota asociada (los organismos que se relacionan directamente con la biota productiva, unos con funciones positivas (polinizadores, descomponedores de la materia orgánica, defensas naturales de las plantas y animales, reguladores naturales de plagas, entre otros) y los que tienen funciones negativas (organismos nocivos que causan plagas y enfermedades); (4) biota introducida (los organismos que se introducen en el sistema para contribuir a la eficiencia de la biota productiva hasta tanto el sistema sea autogestionario).

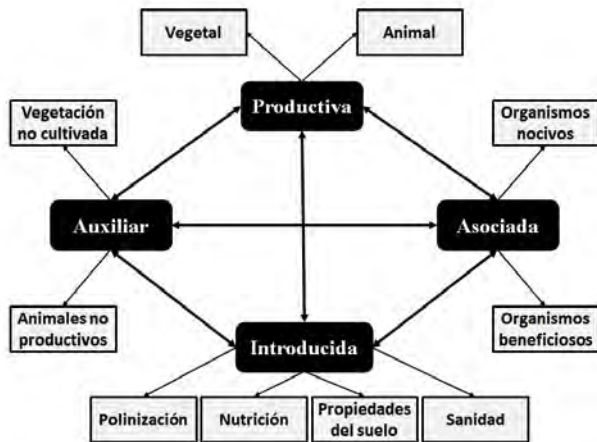


Figura 1. Componentes funcionales de la biodiversidad en agroecosistemas

Un tipo importante de interacciones entre los componentes de un agroecosistema son las relaciones tróficas, que en buena medida, determinan la estabilidad de las poblaciones presentes. Si en un agroecosistema las relaciones tróficas son del tipo lineal, el flujo de energía sigue un solo camino posible y este es uno de los principales errores de la revolución verde (Griffon, 2008b), pues los agroecosistemas, al igual que los ecosistemas naturales, se caracterizan por presentar relaciones tróficas no lineales (el flujo de energía puede seguir diferentes rutas), por ello los índices

de biodiversidad clásicos siempre subestiman los niveles de diversidad de interacciones y por lo tanto no son adecuados para la agroecología (Griffon, 2008a).

La importancia de la biodiversidad para los sistemas agrícolas radica en el freno de la homogeneización y simplificación de los agroecosistemas, aportando mayor resistencia a las perturbaciones, menor vulnerabilidad a enfermedades y plagas y beneficios tales como la prevención de la erosión del suelo (Altieri, 1999) a través de cubiertas vegetales o la adaptabilidad a condiciones ambientales imprevistas debido a la heterogeneidad y diversidad genética.

Muchas personas que manejan SPA no valorizan la biodiversidad, o simplemente tienen una percepción limitada de la misma, al considerar solamente las especies y variedades o razas productivas (plantas y animales) o muestran algún interés en la conservación del resto de la biota que habita en el sistema; sin embargo, la biodiversidad, como se justificó antes y de evidencia más adelante, no es solamente la composición de especies, sino los caracteres funcionales que se logran a través de los diseños y manejos que se realizan.

DISEÑO Y MANEJO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de producción agropecuaria es la unidad o propiedad de la tierra, representada en determinada superficie que es explotada para obtener alimentos u otros productos agrícolas, donde el propietario, usufructuario o administrador planifica y decide respecto a cuestiones técnicas y económicas para cumplir con el fin productivo. Según Etter (1993), tradicionalmente el concepto de sistema de producción se ha mantenido en un nivel abstracto, desligado de su contenido real, lo cual ha impedido su adecuada comprensión y su aplicación para el análisis de la dimensión supraorganísmica o ecosistémica de la realidad; en términos generales, el sistema de producción se ha definido como una unidad funcional, compuesta de elementos físicos, bióticos y socioeconómicos, sin que sean claramente identificables con una dimensión espacio-tiempo real y concreta.

Lo esencial en el diseño y manejo agroecológico del SPA es entender que este se realiza a nivel de toda la superficie del sistema, sea productiva o no, y constituye un proceso que se planifica y ejecuta paulatinamente, cuyo objetivo principal es favorecer procesos ecológicos que contribuyan a la eficiencia económica, energética, ecológica y social y se realiza mediante los diseños y manejos agroecológicos siguientes:

- Integración agricultura, ganadería, forestería.
- Integración de la vegetación auxiliar.
- Manejo y conservación de recursos naturales.
- Manejo de las intervenciones para la nutrición y la sanidad.

El SPA no está aislado, sino que interactúa con otros sistemas vecinos o cercanos, así como ambientes seminaturales, naturales y urbanos; por ello es muy importante considerar que la interacción entre estos a escala del territorio puede ser negativa (poblaciones de organismos nocivos, sustancias tóxicas, temperatura elevada, partículas de polvo u otras) o positiva (polinizadores, reguladores naturales, otros elementos de la biodiversidad). Esto significa que en el diseño del SPA deben considerarse estas interacciones externas, para reducir las negativas y favorecer las positivas.

Uno de los motivos por los que muchos agricultores realizan una conversión desde un sistema de monocultivo manejado con insumos agroquímicos, a un sistema más diversificado, es lograr una producción de calidad y estable, poco dependiente de insumos extremos, con el objetivo de disminuir los costos de producción, y a la vez conservar recursos naturales de la finca tales como suelo, agua y agrobiodiversidad (Altieri, 1995).

La conversión de un sistema convencional a otro sostenible usa el enfoque agroecológico, en que la unidad de producción se percibe como parte de un sistema más grande de partes interactuantes, todo un agroecosistema, por lo que debemos enfocarnos en rediseñar ese sistema con el objetivo de promover un amplio rango de diferentes procesos ecológicos y socioeconómicos (Gliessman, 2001).

INTEGRACIÓN AGRICULTURA, GANADERÍA, FORESTERÍA

Diseño de la matriz del sistema de producción. Es la estructura espacio-temporal de toda la superficie del sistema de producción, que incluye los subsistemas o unidades de manejo que lo integran, los sistemas de cultivo y ganadería, la vegetación auxiliar, además de diferentes instalaciones que pueden estar integradas para la elaboración de abonos orgánicos y biofertilizantes, biopreparados de plantas, procesamiento y almacenamiento temporal de la cosecha, entre otras, cuyo diseño agroecológico debe lograr una matriz compleja y funcional, de manera tal que se favorezcan diversos servicios ecológicos; aunque, no existen recetas para lograrlo, ya que depende mucho de las características biofísicas del SPA, las condiciones socioeconómicas y la percepción del agricultor, entre otros factores contextuales.

En el diseño del SPA es importante favorecer la conectividad funcional entre cultivos y la vegetación auxiliar, principalmente de polinizadores y reguladores naturales de organismos nocivos, entre otros elementos de la biodiversidad; de igual forma el diseño debe facilitar los flujos internos de subproductos para su reincorporación al sistema.

Diversificación e integración de rubros productivos. Constituye el proceso más importante en la reconversión agroecológica, pues significa integrar diversidad de elementos de la biota productiva agrícola, ganadera y forestal, de manera que se favorezcan multi-funciones positivas.

Generalmente los agricultores que comienzan la diversificación, tienden a especializar la superficie destinada a cada tipo de rubro productivo, en la mayoría de los casos considerados como subsistemas o unidades de manejo, como por ejemplo el área para el ganado mayor, o para cultivos agrícolas, para frutales o forrajes, entre otros tipos de rubros productivos, lo cual es muy común porque se facilitan las labores y la utilización de tecnologías convencionales (preparación del suelo, siembra,

riego, aplicaciones de plaguicidas, cosecha, entre otras). Sin embargo, esta especialización rubro productivo-tecnología puede considerarse como un subsistema convencional, por ello el proceso de reconversión requiere integrar diferentes especies y tipos de rubros productivos, tanto en la escala del sistema de producción, como en los subsistemas o unidades de manejo, como se expone en los ejemplos siguientes:

- Cultivos agrícolas. Integración de especies con estructura espacial y temporal diferente (diseño en policultivos).
- Frutales. Integración de cultivos agrícolas durante el crecimiento y desarrollo de los árboles (diseño agroforestal).
- Frutales. Integración de animales cuando el frutal se ha desarrollado (diseño agrosilvopastoril).
- Café. Integrar frutales con los arboles de sombra (diseño agroforestal) y animales cuando se realiza poda de soca (diseño agrosilvopastoril).
- Ganadería. Integrar árboles para el ramoneo y la sombra con cultivos agrícolas (diseño silvopastoril).
- Aves de corral. Colindancia con frutales para pastoreo (diseño silvopastoril).

Una estrategia clave en agroecología es explotar la complementariedad y sinergia que derivan de las diferentes combinaciones de cultivos, árboles y animales en agroecosistemas, que se rigen por arreglos espaciales y temporales, tales como policultivos, sistemas agroforestales y mezclas cultivo-ganadería (Altieri y Nicholls, 2000).

Composición y dinámica genética. El manejo genético de variedades y razas constituye una práctica con eficiencia demostrada, que se refuerza con los métodos participativos de conservación y selección, así como las ferias de biodiversidad, que contribuyen a complejizar y contextualizar el uso de genes mejor adaptados a los diseños y manejos agroecológicos y con funciones de resiliencia a eventos externos extremos.

El tema del comportamiento de las variedades aún requiere estudios más complejos (Libman, 2001), pues las mejoradas

generalmente son desarrolladas para sistemas de monocultivo, por lo que no se puede afirmar que tengan el mismo resultado productivo en la asociación (Pino *et al.*, 2003); esto es lógico, ya que los diseños experimentales durante el proceso de mejoramiento genético generalmente homogenizan la tecnología y solamente evalúan variables productivas, de mercado o comportamiento bajo las condiciones locales; sin embargo, los arreglos espaciales y temporales, el acompañamiento de cultivos, el sistema de nutrición, el sistema de manejo del suelo, entre otras prácticas agronómicas muy utilizadas en los diseños agroecológicos generalmente no son consideradas; por ello el mejoramiento genético de plantas cultivadas (y también de animales para la ganadería) debe considerar las nuevas demandas de la agroecología, pues indudablemente existe un potencial genético que es desechado en los experimentos clásicos, como ha sido demostrado por el fitomejoramiento participativo.

Estructura de las plantas cultivadas. Cuando se integra agricultura, ganadería y forestería es posible lograr sistemas de producción agroforestales, donde el árbol esté presente en toda la superficie, sea en diseños agroforestales o silvopastoriles, en la cerca viva perimetral, arboledas, cerca viva interna, entre otros, de manera que la estructura del árbol pueda realizar diversas funciones.

En los sistemas silvopastoriles el árbol realiza diversas funciones, pues además de servir de forraje nutritivo para el ramoneo de los animales, favorece su bienestar mediante la sombra, sobre todo en periodos de sequía, a la vez que contribuye a la conservación y mejora del suelo, la calidad del pasto y reduce la ocurrencia de organismos nocivos al pasto, el forraje y los animales, entre otras funciones positivas. Otro ejemplo muy común es integrar cultivos agrícolas en las calles de frutales durante el crecimiento y desarrollo de estos; el frutal, al tener una estructura arbórea, también regula el microclima y es barrera contra plagas.

También es importante integrar plantas con estructura diferente en subsistemas destinados a cultivos agrícolas; es decir, no es

suficiente con lograr diseños con más de un cultivo (diversidad genética), sino que es necesario que en la integración se considere el criterio estructural como: herbáceo de cobertura, herbáceo en hileras, herbáceo arbustivo, arbustivo, así como diferentes sistemas radicales, de manera tal que la propia estructura de la planta realice varias funciones.

Por ejemplo, muchos agricultores que tienen diseños en policultivos intercalan hileras de maíz en campos de col, tomate, pimiento, frijol, calabaza, entre otros, en los cuales el maíz contribuye con el otro cultivo al aportar varias funciones positivas relacionadas con su estructura: regulación del microclima (temperatura, humedad, corrientes de aire), barrera física a plagas, antierosiva, entre otras.

Colindancia espacial de cultivos. Es la siembra de un campo o surco al lado o cercano al otro y sus efectos negativos (colindancia negativa) o para favorecerlos (colindancia positiva). La colindancia negativa es muy importante desde el punto de vista fitosanitario, ya que algunas plagas pueden pasar de un cultivo al otro; también la colindancia positiva, ya que un cultivo puede suministrar reguladores naturales al otro o servirle de barrera física o repelencia ante poblaciones de plagas (Martínez y Vázquez, 2013). También este criterio es útil para el viento, la sombra, efectos alelopáticos, entre otros.

Tamaño y forma de los campos. En los campos de mayores dimensiones, las plantas estarán más estresadas por los efectos siguientes: hacinamiento de una misma especie, la tecnología intensiva propia de los campos grandes y por la afectación de las propiedades del suelo; además, habrá más concentración de recursos alimenticios preferidos para los organismos nocivos, los que se multiplicarán en mayor cantidad que en los campos menores. De igual forma, los campos de diferentes formas contribuyen a la desorientación de las especies de insectos que vuelan en busca del cultivo preferido, además de sus efectos en la conservación del suelo

Para los sistemas de ganadería convencional, existe la tendencia a diseñar cuartones uniformes de grandes dimensiones; sin embargo, esta estructura favorece efectos adversos del clima sobre el bienestar de los animales y mayor ocurrencia de organismos nocivos, entre otros de carácter negativo. En cambio, cuando los cuartones de ganadería son de diferentes dimensiones y formas, se reducen estos efectos; de igual forma, en SPA que crían animales semiestabulados (aves u otros), estos se desarrollan mejor, con otros beneficios cuando el área de pastoreo tiene funciones productivas, como por ejemplo diversos frutales.

Sistemas de cultivo y ganadería complejos. Constituyen diseños genéticos, espaciales, estructurales y temporales, para lograr multifunciones, principalmente las siguientes (Vázquez, 2013b): (1) mayor y diversa producción de biomasa vegetal y animal; (2) diversidad de productos al mercado; (3) subproductos para la alimentación animal; (4) regulación de arvenses mediante efecto alelopático y de competencia; (5) conservación del suelo; (6) conservación de la biodiversidad; (7) conservación del agua; (8) regulación del microclima; (9) reducción de gastos energéticos y económicos; (10) autorregulación de organismos nocivos; (11) mejor calidad de productos agropecuarios; (12) reducción de efectos degradativos por intervenciones químicas y mecánicas. Algunos ejemplos con eficiencia demostrada en Cuba son los siguientes:

- Policultivo mediante la asociación de boniato con maíz en siembra simultánea.
- Policultivo mediante el intercalamiento de barreras de maíz en el cultivo de la papa, sembrada en secuencia (maíz 21 y 15 días antes de la papa).
- Policultivo mediante la siembra de cebolla con maíz intercalado y relevo con yuca.
- Policultivo mediante la siembra simultánea de yuca, maíz y frijol.
- Agroforestal de café con integración de árboles frutales en la sombra permanente, sombra temporal de plátano o banano y cobertura viva de leguminosa.

- Agroforestal de árboles frutales (varias especies integradas), con siembra simultánea de cultivos agrícolas (hortalizas, granos, raíces y tubérculos) para el relevo de estos y algunos frutales con café.
- Poliforraje con siembra simultánea de varias especies asociadas o intercaladas.
- Poliforestal con plantación simultánea o meliácea en sucesión.
- Silvopastoril con integración de arbustos y árboles de leguminosas y varias especies herbáceas nutritivas.
- Polipastoril con integración de más de una especie de pasto en siembras simultáneas o sucesiones.

En su mayoría, estos sistemas han sido diseñados mediante procesos de experimentación por agricultores (figura 2), que en ocasiones son estudiados por investigadores para demostrar sus funciones y eficiencia; pero, no han sido suficientemente promovidos y adoptados, debido a la aparente complejidad en su manejo, principalmente ciertas dificultades para la mecanización de las labores, lo que de manera general se debe a esquemas concebidos en la agricultura convencional y desconocimiento de sus ventajas cuando se comparan con el monocultivo.



Figura 2. Algunos diseños de sistemas de cultivo complejos innovados por los agricultores. De izquierda a derecha: policultivo (plátano con repollo y maíz intercalados); policultivo (maíz con calabaza intercalada); policultivo (cultivos en franjas de maíz, frijol, pimiento); agroforestal (aguacate con frijol intercalado). Fincas de campesinos en la provincia Ciego de Ávila. 2011

La capacidad de estos diseños en la reducción de plagas ha sido demostrada en diversos estudios, así León *et al.* (2000) al comparar el comportamiento de tres variedades de tomate (INCA-17, INCA-9-1 y Lignón) en sistemas de monocultivo y policultivo con maíz, corroboró que el policultivo tomate-maíz ejerce una acción disuasiva sobre el desarrollo de poblaciones plagas en el cultivo del tomate y facilita a su vez la colonización por los enemigos naturales; se encontraron, además, menos síntomas de virosis en los policultivos que en los monocultivos. Se detectó un efecto varietal sobre el comportamiento de las densidades poblacionales en ambos sistemas, así como sobre la presencia de la enfermedad viral.

La resiliencia ante la ocurrencia de ciclones tropicales constituye un ejemplo de las ventajas de los diseños agroecológicos, pues según Machín *et al.* (2010) en los sistemas campesinos, las fincas con mayor grado de integración agroecológica son las que han sufrido menos frente a esos fenómenos, debido a que sufren menos erosión y derrumbes, por la mayor implementación de prácticas de conservación de suelos (siembra en curvas a nivel, control de cárcavas, mayor cobertura vegetal del suelo, etc.) y como consecuencia de las múltiples capas de vegetación, hay también menores pérdidas de cosecha; además, las pérdidas que sufren las fincas agroecológicas frente a los huracanes no son totales y su recuperación es mucho más rápida en aquéllas con menor nivel de integración agroecológica.

Dinámica temporal de cultivos. Lo más conocido y practicado es la rotación de cultivos, que se realiza cuando un cultivo termina su ciclo. Otra forma es la secuencia de cultivos, que se van sembrando a intervalos, de acuerdo a las funciones que se pretenden lograr. Una práctica ancestral que se ha demostrado eficiente, es el relevo de cultivos, para mantener ambos cultivos acompañados durante un tiempo, a la vez que aprovechar mejor el terreno y el riego (ejemplo: en el caso del maíz y las leguminosas, que se utiliza el primero como tutor); además, el cultivo que termina constituye un reservorio y suministro de reguladores naturales al cultivo que se inicia, siempre que no sean de la misma familia u hospedantes de

plagas polífagas; también es una buena práctica de conservación del suelo.

Una compilación elaborada por Casanova *et al.* (2001) concluyo que bajo las condiciones de Cuba, tanto los resultados de investigación como los datos reales de la producción, demostraron que los policultivos y la rotación de cultivos podían aumentar los rendimientos en la mayoría de los cultivos económicamente importantes.

INTEGRACIÓN DE LA VEGETACIÓN AUXILIAR

Conectividad de la vegetación auxiliar. Estas constituyen la biota auxiliar, ya que precisamente realiza funciones de apoyo a la biota productiva y asociada, principalmente las siguientes (Vázquez, 2013b): (1) regulación del microclima (humedad relativa, rocío, corrientes superficiales de aire, calentamiento de superficies); (2) barrera física (poblaciones de plagas, sustancias tóxicas y partículas no deseadas); (3) conservación del suelo (antierosión, materia orgánica, reducción de contaminantes); (4) conservación de la biodiversidad (polinizadores, reguladores naturales, corredor ecológico).

Las plantas no cultivadas que habitan o se fomentan deben integrarse en toda la superficie del SPA, de manera tal que favorezcan la conectividad entre estas y los sistemas de cultivo y ganadería, por lo que constituyen parches de vegetación que actúan como corredores ecológicos de la biodiversidad.

Cerca viva. Puede ser perimetral o interna. La perimetral delimita la propiedad y ambas evitan el trasiego de personas y animales. La cerca viva que se fomenta alrededor y en el interior de la finca realiza diversos servicios ecológicos, los que pueden ser incrementados cuando se planifica y maneja de manera eficiente y considerando sus interacciones positivas, a saber (Vázquez, 2011, 2013b): (a) microclima favorable, (b) ramoneo de animales, (c) reservorio de entomófagos, entomopatógenos y polinizadores, (d) barrera física a poblaciones inmigrantes y

emigrantes de organismos nocivos, (e) repelente a insectos y roedores, (f) planta trampa o atrayente de organismos nocivos, conservación del suelo, entre otros.

Para lograr multifunciones en el diseño de cercas vivas agroecológicas se debe considerar que deben integrarse especies de diferente estructura y que considere que cada lado del SPA debe estar compuesto estructurado de acuerdo a las funciones que se requieren.

La cerca viva interna generalmente se diseña para los cuarterones de ganadería o para delimitar subsistemas o unidades de manejo y nunca debe estar integrada por especies de plantas que actúen como repelentes o para elaborar plaguicidas botánicos, ya que interesa más sus funciones para el ramoneo del ganado, la polinización, reservorio de entomófagos, como corredor ecológico de la biodiversidad, barrera física, conservación del suelo, regulación del microclima. En el caso de los cuarterones de ganadería, sus funciones principales deben ser evitar su salida, favorecer el ramoneo y proveer de sombra para el bienestar de los animales; a estas se pueden agregar que actúen como reservorios de entomófagos y polinizadores, corredores ecológicos de la biodiversidad, conservación del suelo.

No existen recetas para el diseño de las cercas vivas, depende mucho de las características y ubicación del SPA, sus vecinos, así como de las habilidades de observación del agricultor para identificar el diseño adecuado. Respecto al manejo, lo esencial es no dejarlas en libre crecimiento (abandonadas) y reponer las fallas constantemente.

Arboleda. Vegetación natural, seminatural o fomentada, ubicada en la zona donde radican diversas instalaciones y la vivienda u otros sitios del SPA. Lo importante es que su manejo sea mínimo, ya que constituyen importantes reservorios y actúan como corredores ecológicos de la biodiversidad, además de sus funciones en la regulación del microclima, barrera física, conservación del suelo, entre otras.

Ambientes seminaturales. Constituyen sitios o parches de vegetación no cultivada, que crece naturalmente y no se realizan intervenciones que afecten sus funciones ecológicas. Generalmente son sitios donde no se puede cultivar por diferentes razones (linderos u otros) y pueden ser mejoradas sus funciones integrando otras especies de plantas como arbustos, florícolas, entomófilas y otras. En estos sitios no se realizan intervenciones como chapeas drásticas, quemar, tratamientos de plaguicidas u otras. Constituyen reservorios eficientes de reguladores naturales, fuentes de alimentación y refugio de polinizadores, además de contribuir al microclima y la conservación del suelo, entre otros servicios ecológicos.

Barreras vivas. Plantas que se siembran en hileras en lados de los campos, que pueden cumplir funciones de barrera física y repelencia a poblaciones inmigrantes de organismos nocivos o conservación de reguladores naturales. También contribuyen a la conservación del suelo, incluyendo las que se intercalan cuando la topografía es irregular. Pueden ser laterales (en lados de campos) e intercaladas (dentro de los campos).

Tolerancia de arvenses. Son plantas que crecen en los campos de cultivos, antes, durante o después del mismo y compiten con este por espacio y nutrientes, además de hospedar plagas, por lo cual se les categoriza como malas hierbas o malezas. Se considera que también estas plantas tienen funciones positivas, como la conservación del suelo (reducir la erosión), retener la humedad en el suelo y el campo, son hospederos y refugio de reguladores naturales de plagas y polinizadores, entre otras. Es decir, existe una polémica sobre el verdadero rol de las arvenses, pues unos las consideran malas y otros estiman que pueden ser beneficiosas; los primeros las tratan de controlar, los segundos las manejan y toleran en los campos.

Es importante entender la vulnerabilidad de los sistemas de cultivo a los efectos negativos de las arvenses. Los sistemas convencionales son más vulnerables, debido a la intensidad del manejo del cultivo, los campos son de grandes extensiones y

generalmente de un solo cultivo, por tanto en estos las arvenses son muy competitivas y se consideran reservorios plagas, por ello se recomienda la planificación de deshierbes o aplicaciones de herbicidas. En cambio, en los sistemas de producción diversificados e integrados y los sistemas de cultivos complejos, estas inciden menos, a la vez que su función como reservorios de reguladores naturales es más importante.

De igual forma, las arvenses que crecen en los alrededores de los campos de cultivos y en ambientes seminaturales, también constituyen reservorios eficientes de reguladores naturales, fuentes de alimentación y refugio de polinizadores, además de contribuir al microclima y la conservación del suelo, entre otros servicios ecológicos.

La tolerancia de arvenses consiste en dejar las arvenses sin controlar, sea en los campos o sus alrededores. Las decisiones sobre tolerancia de arvenses consideran la intensidad y grado de competencia con el cultivo, los tipos de arvenses y la etapa fenológica del cultivo. En muchos casos los agricultores logran identificar qué niveles de incidencia son tolerables, qué especies no compiten con el cultivo (hábito de crecimiento, sistema radicular, etc.), cuáles son las llamadas malezas nobles, etc. También depende mucho de la etapa del cultivo, generalmente el nivel de tolerancia es bajo en el crecimiento-desarrollo (periodo crítico) y al final, en la cosecha, se tolera más porque no compete y acompaña al cultivo, sobre todo en periodos de sequía. Una ventaja de la tolerancia de arvenses en la etapa final del cultivo es que favorece la multiplicación de reguladores naturales.

MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Los recursos naturales más explotados y degradados por la producción agropecuaria son el suelo, el agua y la biodiversidad, por ello la reconversión se debe realizar con enfoque de conservación, para recuperar sus propiedades y funcionamiento. Aunque la mayoría de los diseños agroecológicos favorecen la

conservación de los recursos naturales, existen algunos manejos que deben ser adoptados durante el proceso de transición, como parte de la recuperación paulatina de dichos recursos, que por lo general es lenta.

Sistema de drenaje y antierosivo. Es una práctica de conservación del suelo que tiene efectos sobre la conservación del suelo y la sanidad de los cultivos. Un sistema de drenaje bien diseñado reduce la dispersión de organismos nocivos por las corrientes de agua y suelo, así como el encharcamiento que incrementa ciertas enfermedades causadas por microorganismos (hongos, bacterias).

Debido a que las propias tecnologías de los cultivos favorecen el movimiento del suelo, sea por la preparación o por las labores culturales, este es más susceptible a los procesos de erosión hídrica, la que pueden ser provocada por el propio sistema de riego o por la ocurrencia de eventos meteorológicos, que propician las lluvias fuertes e inundaciones.

Entonces el manejo de la erosión significa en primer lugar identificar los sitios del SPA por donde hay desnivel del terreno, así como observar el recorrido del agua cuando llueve, para luego establecer barreras físicas que impidan que se lleve el suelo. Estas barreras pueden ser de diferentes materiales que constituyen residuos vegetales o plantas (barreras vivas). También pueden realizarse mediante la siembra de cultivos de cobertura o dejar las arvenses como cubierta vegetal en zonas inclinadas, pero manteniéndolas bien chapeadas como si fuera un césped.

Sistema de preparación del suelo. Básicamente se trata de realizar laboreo mínimo o no laboreo, así como utilizar implementos y tracción de conservación. La preparación del suelo no es solamente de interés productivo, sino que incide sobre la conservación de este recurso natural, incluyendo la biota que lo habita.

Dinámica de cultivos. Establecer diferentes siembras en el año, adoptar sistemas de cultivos complejos y realizar rotaciones funcionales de cultivos, constituyen prácticas que favorecen la conservación de las propiedades del suelo. Cuando la superficie está destinada a cultivos permanentes, se deben integrar cultivos temporales y animales siempre que sea posible; cuando se desmonta el cultivo por alguna razón, es útil rotar con plantas funcionales que contribuyan a la mejora del suelo (leguminosas, abonos verdes, cobertura, sistema radicular).

Uso óptimo y conservación del agua. El uso óptimo del agua constituye una necesidad económica y ecológica, por ser un recurso natural necesario y escaso, con tendencia a reducirse su disponibilidad; por ello se debe considerar este aspecto en el diseño y manejo de SPA, para dejar atrás el criterio extractivista en el uso agrícola del agua, no solo para la irrigación, sino para la aplicación de productos para la nutrición y la sanidad, así como para el procesamiento de las cosechas.

Algunas prácticas recomendadas son: (1) realizar el riego según pronóstico y monitoreo del cultivo, (2) integrar sistemas de riego que optimicen el uso de agua y de acuerdo a las características del cultivo, (3) reducir o sustituir el riego superficial, (4) integrar al sistema de riego las aplicaciones de productos para la nutrición y la sanidad, (5) optimizar el uso del agua en el procesamiento de la cosecha, (6) realizar un manejo óptimo del agua en la ganadería, (7) diseñar sistemas complejos para lograr mayor retención de humedad.

Conservación y manejo de reguladores naturales. Son organismos que regulan naturalmente poblaciones de organismos nocivos, también se conocen como enemigos naturales. Estos constituyen grupos de biodiversidad funcional muy degradados por la agricultura convencional, por lo que además de los efectos de la diversificación e integración, deben realizarse algunas prácticas de manejo que favorezcan la recuperación de su diversidad y actividad.

Existen diferentes prácticas que se pueden realizar para favorecer la actividad reguladora de enemigos naturales que habitan en el SPA, principalmente las siguientes (Vázquez *et al*, 2008): (1) Reducir el efecto toxico de plaguicidas; (2) reducir intervenciones físicas en el suelo y el cultivo; (3) favorecer la biodiversidad en el SPA; (4) manejo de reservorios de reguladores naturales; (5) realizar crías rusticas de especies eficaces; (6) utilizar cajas de recuperación de parasitoides y predadores adultos para luego liberarlos; (7) trasladar poblaciones de reguladores naturales a otros campos.

Estudios realizados por Funes-Monzote (2009) en sistemas integrados de agricultura-ganadería, determinaron que los cultivos perennes, como el caso de los pastos, la gliricidia y la leucaena, actuaron como hospederos alternativos para los enemigos naturales de las plagas agrícolas, aspecto que había sido expuesto por Vandermeer *et al.* (1998) y Altieri (1999), en cuanto a que la diversificación estimula la aparición de enemigos naturales que controlan las plagas y de esta forma contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Un manejo agroecológico del hábitat con la biodiversidad adecuada, conlleva al establecimiento de la infraestructura necesaria que provee los recursos (polen, néctar, presas alternativas, refugio, etc.) para una óptima diversidad y abundancia de enemigos naturales. Estos recursos deben integrarse al paisaje agrícola de una manera espacial y temporal que sea favorable para los enemigos naturales y por supuesto que sea fácil de implementar por los agricultores. El éxito depende de: a) la selección de las especies de plantas mas apropiadas, b) la entomofauna asociada a la biodiversidad vegetal, c) la manera como los enemigos naturales responden a la diversificación y d) la escala espacial a la cual operan los efectos reguladores de la manipulación del hábitat (Nicholls, 2010).

Sistema de bioseguridad. Diferentes prácticas que reduzcan los riesgos de entrada y multiplicación de organismos nocivos a las plantas y animales productivos.

MANEJO DE LAS INTERVENCIONES PARA LA NUTRICIÓN Y LA SANIDAD

Son las intervenciones en el suelo, los cultivos, las cosechas y los animales, con moléculas químicas, bioquímicas u otras sustancias o toxinas, así como microorganismos y vacunas sintéticas, con diferentes mecanismos de acción, que tienen el propósito de contribuir a la nutrición y la sanidad de plantas y animales productivos.

Generalmente estos productos han sido estudiados y desarrollados para cumplir estas funciones, siendo limitados los conocimientos sobre sus efectos colaterales no deseados, sean sobre el rubro productivo al que se aplican, las personas y animales que se alimentan de dicho rubro de forma directa o como productos elaborados, el suelo y el resto de la biodiversidad que habita en el SPA, de lo cual existen muchísimos ejemplos de interacciones negativas, unas inmediatas y otras a largo plazo, algunas conocidas en función de los avances en técnicas analíticas y otras aun desconocidas.

Los efectos negativos de los plaguicidas químicos sobre la biota asociada que habita en el SPA han sido documentados, por ello el manejo agroecológico persigue reducir paulatinamente la carga toxica que se aplica sobre el suelo y los cultivos, sean plaguicidas (insecticidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas, fungicidas), los herbicidas (pre y post emergentes) y los fertilizantes, entre otros, como paso fundamental para la reducción de las poblaciones seleccionadas de organismos nocivos y favorecer la diversidad y actividad de los reguladores naturales.

Debido a que el uso continuado de estos productos tóxicos ha creado mecanismos de selección y resistencia en poblaciones de organismos nocivos, el control de estos resulta difícil con productos y prácticas de menor eficacia inmediata, por ello la reducción de su empleo debe ser paulatina y avanzará en la medida que el sistema de producción aumente su capacidad de autorregulación, lo que obliga a mantener el uso de plaguicidas en la etapa inicial de la reconversión.

Monitoreo para decisiones (señalización). Una forma de atenuar los efectos del uso indiscriminado de plaguicidas, es mediante sistemas de monitoreo o señalización para decidir las aplicaciones y no realizarlo de manera programada o preventiva. Se trata de evaluar las poblaciones y daños de los organismos nocivos de manera periódica, para saber cuándo ha alcanzado el índice que decide una aplicación, pues de no hacerse en ese momento las pérdidas a los cultivos serán de importancia económica. Se considera un sistema muy eficiente para optimizar e integrar diferentes tipos de plaguicidas y de esta forma reducir la carga toxica que se aplica.

Aplicaciones de plaguicidas con selectividad ecológica.

Significa utilizar los productos adecuados, para evitar problemas de resistencia y efectos colaterales contra los reguladores naturales, los animales domésticos y las personas. Es decir, reducir los efectos negativos de la carga toxica aplicada indiscriminadamente. Se logra mediante el tratamiento de semillas, en aplicaciones al suelo en el momento de la siembra, las aplicaciones por bandas, la utilización de productos específicos y de rápida degradación, entre otras características de los diversos plaguicidas existentes.

Integración de plaguicidas no químicos. Se ha manejado erróneamente como sustitución de plaguicidas químicos por biológicos y otras alternativas menos toxicas; sin embargo, se ha demostrado que puede causar los mismos efectos que los químicos cuando es el único criterio (sustituir insumos). La integración es un enfoque agroecológico, pues significa reducir la carga toxica, así como la presión de selección, al seleccionar los productos a utilizar ante cada situación, a la vez que se complejiza la matriz del SPA para aumentar la capacidad de autorregulación.

Integración de la nutrición orgánica y la fitosanidad. Clásicamente los abonos orgánicos, los biofertilizantes y ciertos inoculantes como las bacterias fijadoras de nitrógeno, las

micorrizas, entre otros, se consideran como productos de origen natural elaborados por diferentes métodos, que se incorporan al suelo o se aplican directamente a las plantas, para contribuir a la nutrición mediante diferentes mecanismos. Estos bioproductos no solamente contribuyen a la nutrición de las plantas, sino a su defensa contra diversos factores como los eventos meteorológicos, los organismos nocivos y los contaminantes de diferentes orígenes, entre otros. Esto significa que la nutrición de la planta y la supresión de poblaciones de plagas deben estar integradas para favorecer sinergismos, multiefectos y reducir gastos energéticos por aplicaciones de estos bioproductos.

Cuando los abonos orgánicos se incorporan al suelo, además de incrementar su contenido de materia orgánica y mejorar las propiedades, tienen importantes efectos sobre la reducción de poblaciones de organismos nocivos, a saber: (1) favorecen el desplazamiento de los artrópodos predadores (hormigas, carábidos, ácaros y otros) y los insectos parasitoides (avispidas); (2) contribuyen a la actividad de los reguladores naturales de los fitonematodos (parásitos, predadores, parasitoides, patógenos); (3) contribuyen a la actividad depredadora, parasítica y de competencia de los hongos antagonistas del género *Trichoderma*; (4) facilitan el desarrollo de la biota microbológica que contribuye al desarrollo de suelos supresores de fitopatógenos, como los microorganismos eficientes.

Si estos bioproductos se aplican al follaje, contribuyen a la reducción de las afectaciones por enfermedades causadas por hongos y bacterias, ya que se favorece el desarrollo de los tejidos, los que son menos afectados o más tolerantes; además, los organismos benéficos presentes en el bioproducto y los nutrientes que lo integran tienen los efectos siguientes: (1) los organismos patógenos estarán más limitados a infectar los tejidos de las plantas, porque estos sitios propensos a las infecciones estarán ocupados por los organismos benéficos; (2) los organismos patógenos no dispondrán de alimentos para su crecimiento, porque los exudados producidos por la planta serán consumidos por los benéficos ya instalados; (3) las fuentes de

nutrientes presentes servirán para alimentar solo benéficos; (4) los nutrientes agregados alimentan los cultivos y estos, a su vez, generan más nutrientes en forma de exudados disponibles para los benéficos; (5) la existencia de benéficos sobre hojas producirán un incremento en la retención de nutrientes disponibles para la planta.

Integración nutrición-sanidad animal. De la misma forma, los animales bien nutridos y con alimentos de calidad, serán menos afectados por parásitos y enfermedades, de la misma forma que pueden lograrse sinergismos con la integración de alimentos funcionales y de bioproductos que mejoran la asimilación de los nutrientes.

RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se ha ofrecido una breve panorámica de las bases científicas y experiencias prácticas para el rediseño de sistemas de cultivo y de producción agropecuaria que transitan hacia la sostenibilidad, pues según lo expuesto por Altieri & Nicholls (2013), el desarrollo de agroecosistemas autosuficientes, diversificados y económicamente viables, nace de nuevos diseños de sistemas de cultivo y ganadería manejados con tecnologías adaptadas al medioambiente local, que están dentro de las posibilidades de los agricultores. Esto quiere decir que el diseño y manejo agroecológico requiere de procesos de innovación contextuales y transdisciplinarios (Vázquez, 2010).

Por ello, los agricultores que quieren alcanzar la sostenibilidad sobre bases agroecológicas, sean los que manejan SPA convencionales o los que han logrado avanzar hacia sistemas orgánicos, deben desaprender paulatinamente el enfoque convencional y utilizar de este lo que es útil durante la transición, entender la complejidad de dicho proceso y adoptar un sistema de diseño y manejo que se base en los principios de la agroecología, bajo un fuerte sistema de innovación que parta de un diagnóstico inicial.

REFERENCIAS

- Altieri MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Boulder CO: Westview Press.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of Biodiversity in Agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, No. 74, 19-31.
- Altieri MA. 2010. El estado del arte de la agroecología : revisando avances y desafíos. En: T. León y M. Altieri eds. Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. Socla-Universidad Nacional de Colombia. Ideas No. 21. Pp. 77-104.
- Altieri MA , Nicholls C. 2000. Agroecología, teoría y práctica Para una agricultura sustentable. México DF: PNUMA.
- Altieri M A, Nicholls 2013. 2013. Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de la entomofauna benéfica en agroecosistemas. Ed. Socla. Lima, Perú. 80p.
- Casanova A, Quintero PL, Hernández A. Policultivos. 2001. En: Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible. F. Funes, L. García, M. Bourque, N. Pérez y P. Rosset (eds.): Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, La Habana: 225-234.
- Chapin FS, Zavaleta ES, Eviner VT, Taylor R, Vitousek PM, Reynolds HL, Hooper DU, Lavorel S, Sala OE, Hobbie SE, Mack MC, Díaz S. 2000. Consequences of changing biodiversity. Nature 405: 234-242.
- Díaz S, Cabido M. 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. Trends in Ecology & Evolution 16: 646-655.
- Díaz S, Tilman D, Fargione J, Chapin FS, Dirzo R, Kitzberger T, Gemmill B, Zobel M, Vilà M, Mitchell C, Wilby A, Daily GC, Galetti M, Laurance WC, Pretty J, Naylor R, Power A, Harvell D. 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services. In: Ecosystems and human well-being: Current state and trends. (Eds. R. Hassan, R. Scholes, N. pp. 297-329. Island Press, Washington D.C.
- Etter RA. 1993. Consideraciones acerca de la agricultura sostenible. Documento preparado para los Talleres de Reestructuración del ICA. Instituto para el Desarrollo, Universidad Javeriana. Bogotá, 15 p.
- Funes-Monzote, F R. 2009. Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba. Estación Experimental "Indio Hatuey", Universidad de Matanzas. 176p.
- Gliessman, SR. 2001. Agroecosystem sustainability: developing practical strategies. Book Series Advances in Agroecology, CRC Press, Boca Raton, FL.

- Griffon D. 2008a. Lo pequeño es hermoso: Una alternativa para la solución de la crisis agrícola. <http://desarrollo.ecoportel.net/content/view/full/78989>.
- Griffon D. 2008b. Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología (España)*. 3: 25-31.
- Hooper DU, Chapin FS, Ewel JL, Hector, Inchausti S, Lavorel, S, Lawton JH, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J. Wardle DA. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3-35.
- León, A.; Pino MA, González C, del Pozo E. 2000. Evaluación comparativa de densidades de fitófagos y enemigos naturales en policultivo tomate-maíz. *Cultivos Tropicales* 21:1:53-60.
- Libman, M. 2001. Los policultivos. URL. <http://www.cied.peru.org>.
- Machín, B.; Roque A, Ávila D, Rosset PM. 2010. Revolución Agroecológica: El Movimiento de Campesino a Campesino de la ANAP en Cuba. Ed. ANAP-La Vía Campesina-OXFAM. La Habana. 80p.
- Martínez A, Vázquez L. 2013. Características de la colindancia de cultivos en tres sistemas agrícolas convencionales y su relación con la incidencia de insectos nocivos y reguladores naturales. *Fitosanidad* 17:2: 65-74.
- Nicholls CI. 2010. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. En: *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. T. León y M. Altieri SOCLA-Universidad Nacional de Colombia. Ideas No. 21. Pp. 203-225.
- Odum EP, Sarmiento FO. 1998. *La Ecología: el puente entre ciencia y sociedad*. México DF: McGraw Hill Interamericana de México.
- Pino MA, Terry E, Soto F. 2003. Genotipos de tomate en policultivo con maíz y el efecto de la orientación de las hileras norte-sur y este-oeste. *Cultivos Tropicales*. 24:1: 9-13.
- Sole RV, Goodwin B. 2001. *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*. New York: Basic Books.
- Sole R V, Manrubia SC. 1996. *Orden y Caos en Sistemas Complejos*. Barcelona. Politex, UPC.
- Tilman D.2001. Functional diversity. In: *Encyclopedia of Biodiversity*. In: S. A. Levin (ed.). *Encyclopedia of Biodiversity*. 3:109–120. Academic Press, San Diego, CA.
- Tilman D, Knops J, Wedin D, Reich P, Ritchie M, Siemann M. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300-1302.

- Vandermeer J, Van Noordwijk M. Anderson J, Ong CH, Perfecto I. 1998. Global Change and Multispecies Agroecosystems: Concepts and Issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67:1-22.
- Vázquez LL. 2010. Agricultores experimentadores en agroecología y transición de la agricultura en Cuba. En: *Vertientes del pensamiento agroecológico. Fundamentos y aplicaciones*, Capítulo 10: 229-248. T. León y M. A. Altieri Editores.. SOCLA-IDEA). Bogotá, Colombia: 227-246.
- Vázquez LL. 2011. La cerca viva perimetral de la finca como práctica agroecológica en el manejo de plagas. En: *Manual para la adopción del manejo agroecológico de plagas en la agricultura suburbana*. Vol. I. Ed. INISAV-INIFAT- IAgri. La Habana: 69-83.
- Vázquez LL. 2013a. Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Revista de Agroecología*. Universidad de Murcia. N° 7.
- Vázquez LL. 2013b. *Manejo Agroecológico de Plagas*. Ed. OXFAM-ANAP. La Habana. 5ta Edición. 176 pp..
- Vázquez LL, Matienzo Y, Veitía M, Alfonso J. 2008. *Conservación y manejo de enemigos naturales insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba*. Ed. CIDISAV. Ciudad de La Habana. 198pp.

LA IMPORTANCIA DE LA INTEGRACIÓN GANADERA PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO

Fernando R. Funes-Monzote

Finca Marta, CCS Niceto Pérez, Caimito, Artemisa, Cuba

Email: mgahonam@enet.cu (537) 8335618

RESUMEN

El cierre de los ciclos de energía y nutrientes es un punto focal de los diseños agroecológicos. Para garantizar que esto ocurra los sistemas de manejo de animales y cultivos requieren estar integrados y diversificados, de manera que cada elemento cumpla funciones productoras, transformadoras y que sean capaces de reponer la energía y los nutrientes utilizados para la producción de alimentos. Un sistema agroecológico integrado energéticamente sustentable es la combinación de funciones múltiples a nivel de sistema a través de la aplicación de tecnologías apropiadas y un manejo racional de los recursos naturales, materiales y financieros. Francis Chabouseau expuso que “en suelo sano crecen plantas sanas y la plaga muere de hambre”. La vía más segura de garantizar el equilibrio y la eficiencia en el funcionamiento de un sistema agrícola es el establecimiento de las sinergias que garanticen su sustentabilidad. Este capítulo introduce algunos elementos técnicos y conceptuales de la integración agrícola-ganadera para el diseño de los sistemas agroecológicos sustentables.

INTRODUCCIÓN

Tanto las plantas, los animales, microorganismos como el propio ser humano, son considerados cuerpos vivos con actividad propia y que cumplen funciones idénticas: nacen, se alimentan, crecen, se reproducen y mueren. Sin embargo, aunque tienen estas características que hemos mencionado en común, son diferentes por la forma de desarrollar sus actividades vitales en vegetales y animales.

Tres características fundamentales que diferencian a las plantas de los animales son:

1. Los órganos de las plantas son externos y de forma ramificada como la raíz, las hojas, flores y frutos, sin embargo, los órganos de los animales se encuentran de forma ordenada y en el interior del organismo como el corazón, rumen, el hígado, etcétera.
2. En condiciones normales las plantas permanecen ancladas al sustrato donde se desarrollan durante toda su vida, mientras que los animales necesitan moverse en busca del sustento.
3. Las plantas son capaces de producir sus propios alimentos por la capacidad que tienen de tomar la energía solar y de usar los minerales del suelo para su nutrición y transformarlos en sustancias orgánicas, mientras que los animales y el hombre, por su incapacidad biológica de fabricar alimentos, solo subsisten gracias a los elaborados por las plantas a través de la fotosíntesis.

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, gracias a poseer una sustancia llamada clorofila que les atribuye el color verde, son capaces de transformar la energía solar en alimento. Esta es una gran condición que tienen las plantas que les permiten utilizar la vasta energía del sol.

En condiciones naturales las plantas y los animales viven en armonía, siendo unos la base para el funcionamiento y vida de los otros (Monzote y Funes-Monzote 1997). Cuando miramos hacia los innumerables servicios que se prestan mutuamente, nos percatamos que estamos ante un mundo complejo.

Los sistemas integrados de producción ganadería - agricultura, intentan imitar las relaciones que se establecen entre plantas y animales en estado natural y el objetivo principal es potenciar las capacidades productivas de ambos a partir del aprovechamiento de todos los recursos de la finca. Según Funes-Monzote (2001) los tres principios básicos que rigen el funcionamiento de los sistemas integrados son:

- Conservación y mejoramiento de las condiciones del suelo.
- Biodiversificación funcional de plantas y animales en la finca.
- Máxima interrelación de la producción agrícola y pecuaria.

En este capítulo abordaremos algunos elementos que demuestran la capacidad de los sistemas integrados para la producción de alimentos con una mayor eficiencia en el uso de los recursos, lo que hace que se convierta en la clave para el desarrollo y diseño de los sistemas de producción agropecuarios con base agroecológica. En particular abordaremos diferentes prácticas, métodos y concepciones sobre la integración ganadera y su repercusión para la conservación del suelo.

EL SUELO COMO ENTE VIVO; SU CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO

Una de las principales tareas de la agricultura ecológica con bases integradas es demostrar como es posible lograr el mantenimiento o recuperación de la fertilidad de los suelos a partir de prácticas y métodos que promuevan la regeneración de nutrientes y la conservación de las características físico-químicas del suelo visto como un ente vivo.

En el trópico debe tenerse en cuenta que el suelo está sometido a gran cantidad de factores que promueven su erosión, entre ellos están los efectos de la lluvia y la temperatura del sol, que en esta parte del planeta incide con más fuerza. Algunos errores comunes en el manejo de los suelos tropicales provienen del desconocimiento que generalmente se tiene de sus características y de su relación con el crecimiento de las plantas, la crianza de los

animales y en general sobre todos los procesos que ocurren en Agroecosistema.

Aún cuando el impacto de la lluvia y las altas temperaturas son las principales causas de erosión de los suelos tropicales, el tipo de agricultura que se ha desarrollado en estas regiones ha sido la que ha puesto al descubierto el suelo ante estas adversidades. Entre los principales errores de manejo de los suelos que ha provocado la desertificación de millones de hectáreas están: deforestación, quema, sobrepastoreo, compactación por el uso excesivo de la maquinaria agrícola, cultivo continuo sin tener en cuenta el balance de los nutrientes, ausencia de barreras para contención de la erosión en terrenos inclinados, falta de aplicación de materia orgánica, entre otras.

Los suelos tropicales son por naturaleza productivos y fértiles siempre que mantienen su bioestructura y pueden realizar sus actividades vitales, por tanto, no es su concentración de nutrientes lo que a veces los hace infértiles, sino la capacidad de las plantas de penetrar en búsqueda de ellos.

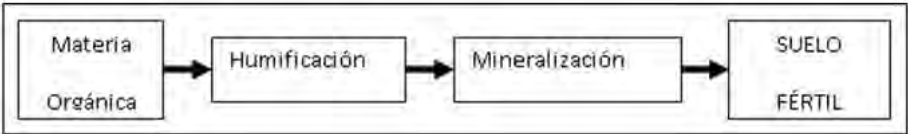
La destrucción de los bosques y áreas naturales para ser sometidas a cultivo continuo, provoca un proceso acelerado de erosión de los suelos, máxime si en la mayoría de los casos no se tiene en cuenta el mantenimiento de las características físicas, químicas y de la vida edáfica, como han demostrado Hernández *et al.* (2006), sino que las prácticas se centran en la restitución de macronutrientes por la vía de compuestos químicos solubles, de impacto más rápido pero con un efecto detrimental en la salud del suelo y de la cadena de creación que le sigue a este como base de la vida.

El suelo puede ser considerado como un organismo vivo porque a pesar de surgir a partir de minerales y rocas sin vida, en su interior se albergan bacterias, hongos, algas, animales, restos vegetales y animales en perfecta armonía, encargados de proporcionar las cualidades y crear las condiciones para que la vida surja, se desarrolle y termine en él, siendo un ciclo de descomposición, formación, muerte y regeneración en el que todos los componentes que forman los seres vivos sobre la tierra se encuentran incluidos.

Cuadro 1. Cantidades estimadas de microorganismos en el suelo

1 m ²		un gramo de suelo	
Nemátodos	10 000 000	Bacterias	500 000
Colembolos	100 000	Hongos	400 000
Anélidos	45 000	Algas	50 000
Insectos y ácaros	40 000	Protozoarios	30 000

La combinación de factores bióticos y abióticos en el complejo proceso de formación del suelo da lugar al humus como resultado de la descomposición y transformación de la materia orgánica por parte de las plantas, animales y microorganismos y su posterior transformación en sustancias inorgánicas (mineralización) que son absorbidas por las plantas. En el proceso de formación del humus (humificación) ocurre la formación de sustancias húmicas de vital importancia para el suelo y su fertilidad. En los suelos tropicales la acumulación del humus es baja, por tanto, es muy importante fomentar el reciclaje y deposición de la materia orgánica de manera intensiva.



LA MATERIA ORGÁNICA

Está formada por restos vegetales y animales en diferente estado de descomposición y da lugar a la formación del humus, que no es más que la materia orgánica totalmente descompuesta. La efectividad de la aplicación de materia orgánica al suelo estará en función de las propiedades físicas y químicas del suelo y está influenciada directamente por las condiciones climáticas.

La presencia de materia orgánica en el suelo y su transformación en humus, incrementa notablemente la retención del agua y los nutrientes, mejorando su estabilidad, porosidad y estructura,

siendo este un ambiente ideal para el crecimiento de las raíces de las plantas. Además, la materia orgánica en el suelo mejora las propiedades químicas y cumple función de tampón o amortiguación de los nutrientes por lo que una disminución de los niveles de materia orgánica inmediatamente provoca la reducción de los nutrientes disponibles a las plantas.

BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS

- Hace más ligeros los suelos “pesados” arcillosos.
- Le da “cuerpo”, mejora la “textura” de los suelos muy sueltos, arenosos.
- Aumenta la capacidad de retención de la humedad, actuando como una esponja.
- Facilita la circulación del aire y el agua a través del suelo.
- Distribuida en su superficie, reduce la pérdida de agua por evaporación.
- Eleva la fertilidad al aportar nutrientes para las plantas.

Cuando el estiércol se procesa y se transforma en abono orgánico, adquiere nuevas propiedades que refuerzan su condición como fertilizante, obteniéndose un producto de mejor calidad y pueden ser utilizados para:

1. Aplicar nutrientes para el buen crecimiento de los cultivos.
2. Mejorar las condiciones físico-químicas del suelo.
3. Aprovechar restos de cosecha, hojas y frutos inservibles y restos de hortalizas, paja, etc. como una vía para el reciclaje y el tratamiento de subproductos y residuales del proceso de producción en las fincas.

PRÁCTICAS DEL MANTENIMIENTO O RECUPERACIÓN DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Son disímiles las prácticas y métodos que pueden ser utilizados para lograr el nivel de fertilidad deseado o requerido para el buen desarrollo de los cultivos y a su vez para la producción de biomasa y alimentos suficientes para la alimentación de los animales y el hombre. Gran parte de estos métodos están basados en el uso de las fuentes de materia orgánica disponibles y su reciclaje, garantizando que muchos nutrientes regresen al suelo

directamente o después de haber sido utilizados por los animales o el hombre.

Estiércoles

El uso de las excretas animales es una práctica comúnmente aplicada por los agricultores con el objetivo de restituir nutrimentos al suelo. Todos los estiércoles tienen un uso específico, unos son más beneficiosos de acuerdo a la **concentración de nutrientes** que otros, mejores de más fácil **manipulación** que otros o simplemente se encuentran en más **abundancia** frecuentemente. Cada una de estas tres características debe ser tenida en cuenta cuando pensamos en su uso.

Además de ser grandes aportadores de materia orgánica a los suelos, el uso del estiércol ante todo es una fuente importante de nitrógeno, elemento deficitario en la mayoría de los suelos sometidos a la explotación agrícola continua y también contiene otros microelementos necesarios para el buen crecimiento de las plantas. También es importante destacar que su acumulación o no utilización provoca serios problemas de contaminación de las aguas y el aire, por lo cual su procesamiento se convierte en más que una opción, una necesidad.

Aunque para todas las especies animales la utilización del estiércol como subproducto es una práctica común, de los animales de finca el bovino es el que produce mayores volúmenes por animal y a menor costo, aunque se han utilizado otros con buenos resultados como los de ovinos y aves, con mejor calidad en contenido de nutrientes y una alta concentración de calcio y elevado pH, lo que debe tenerse en cuenta durante su manejo.

Cuadro 1. Cantidad de estiércol producido por animales de granja

Vaca	30 kg/día	Cabra	4 kg/día
Caballo	20 kg/día	Conejo	0,7 kg/día
Ternero	15 kg/día	Gallina	0,1 kg/día
Cerdo	9 kg/día		

Otra manera de calcular la cantidad de estiércol disponible en la finca puede ser en base al peso vivo de los animales. En este caso el cerdo sobrepasa al bovino en producción de estiércol en función de su peso.

Cuadro 3. Relación peso vivo, producción y calidad del estiércol para diferentes especies animales

Especie	T excreta / año / 500 kg de PV	% Materia Seca	Nutrientes en 1 t de excreta fresca, kg		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovino de ceba	9,5	20	6,3	4,1	4,8
Vaca lechera	13,4	21	6,9	2,1	5,3
Ovino	6,7	35	12,5	4,2	10,7
Cerdos	17,9	25	4,5	2,9	4,0
Caballo	8,9	40	6,1	2,1	6,4
Aves	5,0	46	13,9	8,2	3,7

Cuadro 4. Aportes y composición promedio del estiércol vacuno

Categoría	Estiércol fresco kg / día	Agua %	N kg/t	P kg/t	K kg/t
Vaca lechera	25 - 30	80	5,0	1,5	4,2
Novilla	14 - 18				
Añojo	12 - 15				
Ternero	5 - 15				

Cuatro formas son utilizadas comúnmente para el tratamiento del estiércol y su transformación en abono orgánico:

1. Curado para su uso directo.

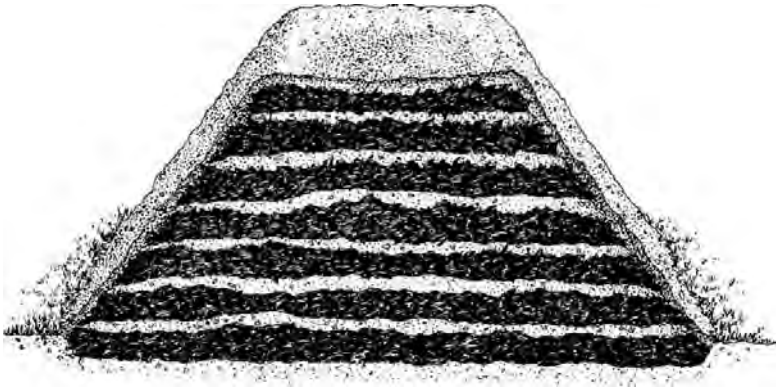
Fresco puede dañar la germinación y el crecimiento inicial del cultivo, entonces para evitarlo debe seguir las siguientes instrucciones:

- Colocar sobre una superficie donde no haya arrastre de las aguas.
- Taparlo con pencas de guano.

- No dejar resecar
- Cuando baje la temperatura y no despidan mal olor, estará listo (90 días)

2. Fabricación del compost.

Es el proceso de curado empleando otros materiales además de estiércol otros materiales como subproductos de cultivos y residuos del consumo de forraje de los animales (triturados), así como sustancias minerales. El compost es considerado como un material biológicamente activo, resultado de la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones controladas.



Es utilizado para promover el reciclaje de nutrientes, el mejoramiento del suelo y el crecimiento de los cultivos y algunos consideran que es un proceso y no un resultado final, debido a que al aplicarlo al suelo continúan los procesos de degradación de la materia orgánica, efecto que provoca la acción de los microorganismos encargados de esta función. Existen varios tipos de compost, diferenciados fundamentalmente por su manejo.

Tipos de compost

Aeróbicos: son aquellos que se desarrollan en presencia de oxígeno, donde se desarrollan un amplio rango de microbios que requieren O_2 para descomponer la materia orgánica y sintetizar nuevos compuestos orgánicos.

Anaeróbicos: en este tipo de compost el grupo de microbios que digieren o fermentan la materia orgánica, lo hacen en ausencia de O_2 .

Vermicompost: ciertos tipos de lombrices de tierra digieren la materia orgánica y el resultado de esta digestión es llamado humus de lombriz, el cual puede tener una alta calidad para mejorar los suelos y el crecimiento y salud de las plantas. Las lombrices son sensibles a las condiciones anaeróbicas, extremos de temperatura y carencia de humedad (ver Lombricultura más adelante). Puede obtenerse información al respecto en Arias *et al.* (2008).

Método de elaboración del compost

- Seleccionar un lugar sombreado protegido de encharcamientos. Remover con pico o guataca.
- Conformar pilas de 2 m de ancho y la longitud deseada
- Colocar capas de 15 - 20 cm de material vegetal y capas intercaladas de 5cm de estiércol
- Humedecer bien las capas que se van colocando
- Colocar capas sucesivamente hasta 1 - 1,5 m de altura
- Colocar en la pila tubos o postes de 10 cm de diámetro y 2 o 3 m de altura para facilitar la aireación y se retiran tres días después
- El proceso termina cuando la temperatura de la pila sea igual al ambiente, no despidan olor y el color se torne pardo

A continuación presentamos las recomendaciones de Don Alvaro Reynoso, eminente agrónomo cubano, para la fabricación del compost, compilado por el profesor Manuel Alvarez Pinto.

Para elaborar en la finca, parcela o huerto un buen abono, proceda como sigue:

- Seleccione un área soleada, llana y que no se inunde.
- Trace y limpie bien el lugar, que puede tener 1,5 m de ancho y el largo que se desee.
- Elimine la hierba para que los materiales queden en contacto con la tierra.
- Distribuya el material en capas.
- La capa de restos orgánicos debe ser de aproximadamente 15 - 20 cm.
- Estiércol de cualquier especie: 1-5 cm.
- La última capa (superior) de restos orgánicos debe ser más gruesa que las anteriores (25 - 30 cm).
- Cubra la “pila” con pencas de guano o con hierba bien seca (capa de 15 - 20cm) para conservar la humedad.
- Riegue la pila para humedecerla.
- Controle la temperatura de la pila para seguir la fermentación. Puede utilizar cabillas situadas al interior
- A los dos o tres días comienza la fermentación, lo que se sabe porque la temperatura se eleva a 70-75 °C; entonces la pila comienza a perder altura. El calor de la masa se conoce tocando las cabillas colocadas en la pila.
- Vigile que la fermentación no se interrumpa. Esto se conoce porque la temperatura comienza a bajar bruscamente y la pila no pierde altura.
- Si esto sucede es que falta humedad. Riegue nuevamente.
- Si se presenta un olor desagradable y aparecen moscas, ello indica que falta aire en la masa por exceso de agua. Entonces hay que “voltear” la masa.
- A las 3 - 4 semanas de “levantado” la pila se “voltea”, procurando que el material menos fermentado quede abajo o al centro
- Humedezca la masa a medida que va volteándola. Tape nuevamente.
- Dos o tres semanas más tarde repita la operación, pero no humedezca la masa.

- A las 4-6 semanas después el material habrá adquirido un color oscuro, de textura pareja, ligero, de humedad media y no tendrá olor desagradable.
- Déjelo refrescar una semana antes de usarlo.
- Si se va a guardar, almacénelo bajo techo para evitar que la lluvia arrastre los nutrientes.

3. Lombricultura

La obtención de abono orgánico de alta calidad a partir de estiércol y otras fuentes orgánicas se puede lograr también a través de la lombricultura, que se ha venido utilizando en Cuba desde la década de los 90 (González *et al.* 1996, Ramón *et al.* 1996, Funes-Monzote y Hernández 1996).

Características de las lombrices:

- Tienen boca pero no tienen dientes
- No dañan las raíces de las plantas
- Respiran a través de la piel
- Tienen cinco corazones y tres pares de riñones por lo que pueden transformar gran cantidad de materiales orgánicos
- Les afecta la luz solar, los rayos ultravioletas que las pueden matar en poco tiempo
- Son hermafroditas (tienen ambos sexos) por lo que se pueden aparear indistintamente

La lombriz se alimenta de desechos orgánicos y los convierte en humus, compuesto químico más estable en el suelo, a través de su proceso de digestión. Algunas lombrices son coprófagas como la roja californiana (que se alimentan de estiércoles) y la mayoría no emigran fácilmente siempre que tengan garantizados alimento, temperatura adecuada, oxígeno y pH básico. La manera de emprender la cría de lombrices es como sigue:

- Se puede realizar en canteros en tierra o en canoas u otros recipientes grandes
- Se coloca de 20 - 30 cm de materia orgánica semidescompuesta.

- Se siembra 1 kg de lombriz por 1 m².
- Las lombrices consumen el alimento de abajo hacia arriba o de forma horizontal, en dependencia de cómo se diseñe el cantero.
- Se debe mantener la humedad uniforme.
- Cuando se encuentren en la capa superficial (8 - 10 días) agregar otra capa similar hacia arriba o hacia un lado.
- Repetir el proceso hasta completar el cantero deseado.
- Cosechar las lombrices restantes mediante un saco de malla colocado en la canoa y depositando estiércol encima o simplemente creando situaciones de stress para lograr su transporte.
- Recogerlas para comenzar el proceso y el sobrante puede ser usado con diferentes fines como la alimentación animal.

Cuadro 5. Algunas características de las lombrices

Categoría	Tiempo de vida	Tiempo de cópula	Nº de crías	Tasa potencial de multiplicación anual
Roja californiana	15 años	Cada 7 días	4 - 20	1 500
Criolla	4 años	Cada 45 días	1 - 4	50

La composición de la lombriz: es en un 80% agua y en un 20% materia seca (60-65% proteína), de manera que 100 lombrices aportan 45 – 90 gramos de proteína.

La capacidad de conversión del estiércol en abono es muy considerable: 1 lombriz adulta produce 0.6 gramos de abono por día. Por tanto, 100 lombrices producen 60 gramos al día y 10 000 lombrices producen 6 000 gramos, es decir, 6 kg por día (2 190 kg por año).

4. Residuales líquidos

Utilizar los residuales líquidos de cualquier sistema de crianza animal no afectadas por enfermedades reconocidas para la fertilización del suelo es una forma de evitar la contaminación

existente en muchas de las unidades pecuarias y además de reciclar un subproducto importante para la sostenibilidad del sistema

Los residuales líquidos pueden ser aplicados en forma de riego directo sobre el pasto a razón de (360 m³/ha/año), para ello es necesario contar con una pipa o equipo similar que permita el traslado de los líquidos depositados en las fosas. Las aplicaciones se deben fraccionar en 6-7 veces comprendidas entre los meses de mayo a octubre. Debe incorporarse al suelo si se dispone de los equipos adecuados para disminuir las pérdidas de nitrógeno.

En caso de exceso de disponibilidad de pasto se capea o pastorea por los animales previo a su aplicación, los cuales no deben tener acceso al pastizal fertilizado con residuo líquido hasta después de 21 días de la última aplicación. Debe utilizarse en manejo con bovinos adultos o en áreas forrajeras.



“Sobre un suelo sano, planta sana”
Sir. Albert Howard (Testamento agrícola)

OTRAS PRÁCTICAS UTILIZADAS EN CUBA PARA MEJORAR LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Cachaza. Subproductos de la industria azucarera 50% de materia orgánica y altos contenidos de P, Ca y N y en menor proporción de K.

Abonos verdes. Incorporación de plantas al suelo, las que mejoran las características físicas, químicas y biológicas de este (Treto y García 1996). Pueden ser leguminosas como el frijol

terciopelo, canavalia, gramíneas como sorgo, otras especies como el ajonjolí y las mal llamadas malezas. Actualmente los productores orgánicos, principalmente los que no poseen animales, les dan más importancia al abono verde como fertilización orgánica, debido a que puede producirse en la propia finca y cubrir rápidamente mayor área.

Residuos de centros de acopio. Se ha propuesto utilizar los diversos residuos de los Centros de Acopio de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) para la elaboración de compost. Los residuos que produce un Centro de Acopio en una zafra pueden fertilizar 150 ha de caña de azúcar.

Aguas residuales. Las aguas residuales de la industria azucarera y sus derivados alcanzan aproximadamente 47 millones de m³ por año y son contaminantes de ríos, mares y cuencas acuíferas. Es posible el empleo exitoso de éstas aguas para el riego y fertilización de la caña de azúcar, en especial los residuales de destilerías de alcohol, que son ricos en nutrimentos.

Cultivos de cobertura, arrope o mulch. Los cultivos de cobertura son plantas que se siembran para cubrir el suelo, sin importar si en el futuro serán o no incorporadas, en cuyo caso actuarán también como abono verde, lo cual ha sido informado por Fuentes y Marrero (1996). Estos cultivos son de gran beneficio en el manejo de las malezas, pues el espacio, luz, humedad y nutrientes que requieren para su desarrollo reducen el crecimiento de éstas.

Por otra parte, también son de ayuda en el manejo de plagas al servir como habitat de insectos benéficos. Esta práctica ha dado origen a los llamados sistemas de corte y cobertura, conocidos en Cuba como arrope o “mulch” (fresco o muerto), que se practican en la agricultura orgánica y sostenible y causan muy poco o ningún daño al entorno en comparación con los sistemas de corte y quema.

Biofertilizantes.

Una de las vías importantes para mejorar el suelo y estimular la nutrición de las plantas es incrementar la población de microorganismos que propicien estos procesos, mediante su inoculación al

suelo, las semillas o las plantas, lo cual es ampliamente cubierto por Gómez y Martínez-Viera (2015) en obra que saldrá a la luz próximamente. Entre los biofertilizantes están:

- **Rhizobium.** En el mundo es común la práctica de utilizar la práctica de utilizar inoculantes comerciales a partir de cepas de rhizobium para leguminosas como frijoles, vigna, maní y otras, con ahorro del fertilizante nitrogenado y otros beneficios para el suelo.
- **Bradyrhizobium.** También se ha comprobado ampliamente la efectividad de estos microorganismos para la soya y otras leguminosas forrajeras, produciéndose anualmente en Cuba, volúmenes significativos para su empleo a escala comercial.
- **Azotobacter.** Se han empleado extensamente biopreparados basados en *Azotobacter chroococcum* que pueden beneficiar una amplia gama de cultivos.
- **Azospirillum.** Otro microorganismo empleado en la nutrición de las plantas ha sido la bacteria *Azospirillum brasiliense*, capaz de asociarse con las raíces de algunas gramíneas, fijar nitrógeno atmosférico y producir hormonas de crecimiento vegetal.
- **Microorganismos solubilizadores del fósforo.** También se han estudiado biopreparados a partir de microorganismos que ayudan a mejorar la nutrición fosforada de las plantas. Con ellos se han suplido total o parcialmente las necesidades de fósforo de tomate, pepino, tabaco, caña de azúcar, cítricos y otros. Estas fosforinas o fosfobacterias se han empleado con resultados satisfactorios combinadas con otros microorganismos como *azotobacter*, micorrizas y otros estimuladores del crecimiento.
- **Micorrizas vesículo arbusculares.** El aumento de la población de hongos micorrizógenos en el suelo beneficia la nutrición vegetal al actuar como extensores del sistema radical de las plantas y por ende aumentar la capacidad de absorción de agua y nutrientes.

LA RELACION SUELO – PLANTA

El suelo es el sustrato natural de las plantas al cual están ancladas por toda su vida, allí nacen, se desarrollan y mueren por la incapacidad que tienen de moverse libremente. Entre el suelo y las plantas se desarrolla una interrelación indisoluble porque cada uno necesita del otro para mantener la vida. Gracias al mantenimiento de los ciclos que regulan interdependencia es que se mantiene el equilibrio natural de los ecosistemas.

Cuadro 6. Aporte de nutrientes y rendimiento de las principales especies utilizadas como abono verde

Especie	Rendimiento t MS / ha	Aporte de nutrientes		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Canavalia	3,36	386	67	185
Mucuna	3,21	217	41	136
Dolichos	2,87	403	129	385
Sesbania	4,42	141	27	138

Requisitos para la siembra, establecimiento y manejo de leguminosas en pastoreo:

1. Siembra:

- Época óptima.
- Especie de leguminosa adaptada al ambiente.
- Rebajar bien la gramínea.
- Realizar alguna labor al suelo total o en franjas.
- Inocular las semillas con cepas efectivas.
- Fertilizar con Fósforo los suelos muy deficientes en este elemento.

2.- Establecimiento:

- Control de malezas.
- Área cercada para evitar consumos de los animales antes del tiempo óptimo.
- Controlar crecimiento de la gramínea con cortes altos y poco frecuentes o mediante pastoreo ligero observando que no afecte la leguminosa.

3. Manejo:

- Ligero en primavera (época de calor y lluvias).
- Más intenso en seca (época de frío y pocas lluvias).
- Permitir floración y producción de semilla – re-seeding.

Posibles fuentes de nitrógeno al suelo:

- Almacenado en el suelo por acumulación de la materia orgánica.
- Producto de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico.
- Síntesis industrial, restos de vegetales, excretas y fertilizantes.
- En menor cantidad por las bacterias fijadoras de N de vida libre y proveniente de las lluvias.

Cuadro 7. Cepas de inoculantes para leguminosas forrajeras

Especie	Incremento rendimiento %	Cepas recomendadas
<i>Neonotonia wightii</i>	80	ICA 1005
<i>Centrosema pubescens</i>	26 - 75	CIAT 1670
<i>Leucaena leucocephala</i>	24	IH 016, ICA 4006 ICA 4033
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	> 50	IH 002, ICA 2014
<i>Stylosanthes guianensis</i>	21	IH 101
<i>Teramnus labialis</i>	-	IH 002, CIAT 1670

Causas que provocan la pérdida de las leguminosas en la ganadería:

- Selección inadecuada en función de las condiciones de suelo y clima que provoca baja adaptabilidad de las especies y variedades utilizadas
- Desconocimiento de los principios básicos del manejo de las leguminosas en pastoreo o en sistemas de corte
- Alto nivel de intensificación de los sistemas en algunas áreas ganaderas, altas cargas instantáneas y sobrepastoreo

- Insuficiencia de investigaciones en algunas especies y experiencias previas en el manejo y la utilización.

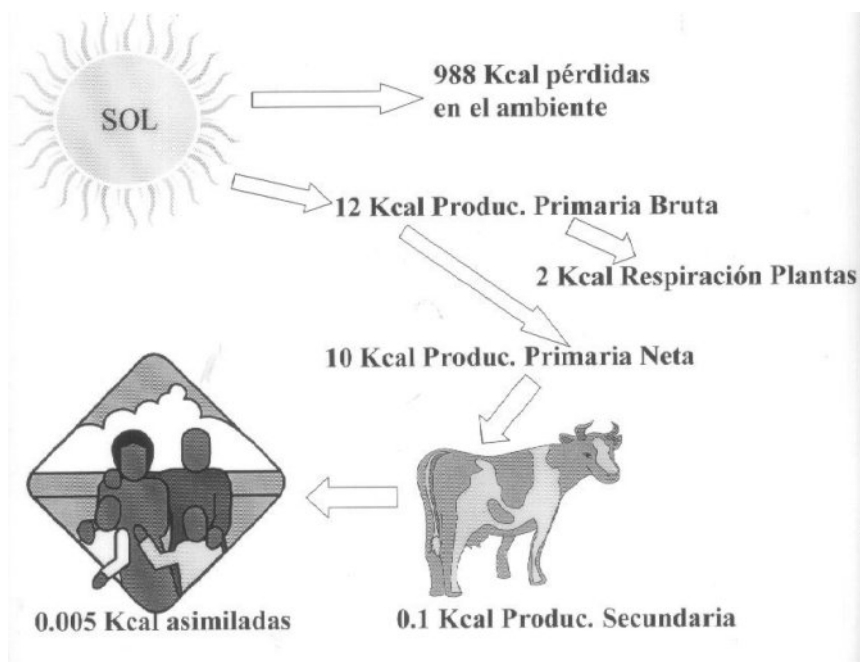
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS

Toda transferencia energética implica pérdidas puesto que la energía ni se crea ni se destruye, por tanto, la optimización de los flujos energéticos a nivel de finca o sistema productivo hará más eficiente en función de la producción de alimentos.

Funes-Monzote (2008) ha expuesto, que generalmente los sistemas agrícolas son más eficientes desde el punto de vista de la producción energética, por estar basados en las plantas que son capaces de captar la luz solar y convertirla en compuestos orgánicos. Por su parte, los sistemas de producción animal son dependientes de materias primas provenientes de las plantas para garantizar su existencia, lo que los hace menos eficientes.

Los organismos fotosintéticos son considerados como productores primarios, puesto que a partir de ellos comienzan las cadenas tróficas, así es que la energía almacenada por los vegetales contribuyen al desarrollo del resto de los organismos consumidores y descomponedores donde en cada nivel se descifra una pérdida de energía en forma de calor.

En la figura ubicada en la siguiente página, se muestra como a partir de 1 Mcal emanada por el sol, se pierden en el ambiente 988 Kcal, pudiendo ser captadas, transformadas y producidas por las plantas solo 12 Kcal, de las cuales dos son utilizadas en la respiración y 10 (1%), están disponibles como producción primaria bruta para la alimentación del hombre o los animales. Si esta energía es consumida por el animal, éste será capaz solo de generar una producción secundaria de 0,1 Kcal (1%), de la cual el hombre solo podrá asimilar 0,005 Kcal (5%).



LA FINCA COMO UN TODO: INTEGRACIÓN GANADERÍA-AGRICULTURA

El predominio del monocultivo, la concentración de la tierra en grandes empresas y la falta de conciencia ecológica, han conducido a la simplificación de los sistemas agrícolas, que son cada vez más frágiles y dependientes de recursos externos para producir.

La separación del sector agrícola y ganadero ha generado grandes pérdidas de recursos naturales que en muchos casos se queman o contaminan.

La unión nuevamente de los sectores agrícola y ganadero a partir de la integración de los sistemas productivos puede dar respuesta, en gran medida, al déficit de energía y alimentos existente, ya que permite:

- Recuperar los desperdicios con un uso racional de los recursos locales
- Reducir o eliminar la necesidad de fertilizantes comerciales

- Incrementar las entradas de la finca con menor trabajo
- Mejorar la estabilidad de la producción
- Disminuir los riesgos económicos
- Aumentar la producción total de alimentos, entre otras muchas bondades.

El primer paso para lograr la integración es incrementar el número de especies o diversificar el sistema. Esto es importante en términos de productividad, regulación biótica, obtención de alimentos comestibles y reforestación

Las especies de plantas constituyen la fuente primaria de alimentación del hombre y los animales:

- Entre ellas los cultivos producen de 5-10 kg de subproductos por cada kilogramo de producto agrícola, que significa una fuente importante de biomasa, por lo general de alto valor biológico.
- Estos subproductos pueden convertirse en proteína animal a través de los rumiantes y como abono a través del compost. Los cultivos además, son una vía económica y productiva para eliminar el aroma y marabú.
- Las especies de pastos, bien manejadas, incrementan y acumulan materia orgánica en el suelo, evitan la erosión y sus excedentes pueden formar parte del compost. Es el alimento más racional y económico para la producción bovina.
- Las plantas arbóreas garantizan alimentos y bienestar a los animales e incrementan la producción de alimentos nutritivos para el hombre.

Integrar es unir en un todo coherente.

En agricultura es la clave para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles.

Marta Monzote

Dentro de la biodiversidad de plantas no deben faltar las leguminosas en cualquiera de los subsistemas. Ellas mejoran el suelo aportándole nitrógeno a través de las bacterias que se encuentran en los nódulos que tienen sus raíces, pueden emplearse como

abono verde o cobertura y deben estar presentes en la rotación de cultivos y policultivos. Son las únicas plantas que aportan cantidad y calidad de proteína para la nutrición humana y animal.

Las especies de animales tienen la posibilidad de:

- Consumir los subproductos agrícolas no utilizables por el hombre, las mal llamadas malezas y otros subproductos del proceso de producción o transformación agrícola y convertirlos en alimentos de alto valor biológico.
- Sus excretas son un importante aporte energético si se transforman en biogás, el lodo resultante de este proceso, junto con el humus de lombriz y el compost son importantes fuentes de fertilizantes orgánicos.
- Garantiza el funcionamiento y cierre de los ciclos de nutrientes que permite potenciar las cualidades productivas de los suelos.

El segundo paso consiste en que cada especie de plantas o animales que se incluyan en el sistema debe jugar un papel. Por tanto, no es suficiente diversificar, es necesario lograr su integración, aplicando los conocimientos científico – técnicos y los prácticos demostrados por los campesinos a través del tiempo.

Cuando esto ocurre, decimos que se cumplen los mecanismos de SINERGIA, lo cual significa que $1 + 1$ puede ser $= 3$, si se ha logrado la integración. Los sistemas integrados no están reñidos con la mecanización y los avances tecnológicos, sino con el uso innecesario de energía y materiales que hacen inviable e insostenible la producción.

Debido a la heterogeneidad de los agrosistemas y las condiciones económicas y sociales, así como los gustos y habilidades del productor, no existe un modelo de finca integrada o agroecológica ganadera, ni un paquete tecnológico. Lo principal es ofrecerle los principios y los conocimientos para que pueda realizar su propia transformación.

REFERENCIAS

- Arias E, Martínez F, Morales A, García C. 2008. Manual de Procedimiento para Abonos Orgánicos. Instituto de Suelos MINAG. Biblioteca ACTAF. La Habana.
- Fuentes P, Marrero P. 1996. La utilización de arroyo en los cultivos. Otra alternativa agroecológica. *Rev. Agricultura Orgánica*.2:1:18-20.
- Funes-Monzote F, Hernández D. 1996. Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y utilización del compost en fincas agroecológicas. *Rev. Agricultura Orgánica*. 2:1:8-12.
- Funes-Monzote F. 1998. Sistemas de producción integrados ganadería –agricultura con bases agroecológicas. Análisis y situación perspectiva para la ganadería cubana. Tesis MSc. Universidad Nacional de Andalucía: 150 pp.
- Funes-Monzote F. 2001. Integración ganadería – agricultura con bases agroecológicas. Plantas y animales en armonía con la naturaleza y el hombre. Asociación Nacional de Agricultores Pequeños, La Habana. 2da Edición. 83 pp.
- Funes-Monzote F. 2008. Farming like we're here to stay: The mixed farming alternative for Cuba. PhD thesis Wageningen University. Netherlands.
- Funes-Monzote F, Monzote M, Serrano D, Martínez HL, Fernández J. 2000. Eficiencia energética y productiva de sistemas integrados ganadería-agricultura. I Congreso Internacional sobre Mejoramiento Animal. CIMA, Ciudad de La Habana, Cuba: 490-497.
- García M, Treto E, Alvarez M. 1996. Los abonos verdes. Una alternativa natural y económica para mejorar la fertilidad de los suelos. *Rev. Agricultura Orgánica*.2:1:21-22.
- Gómez L, Martínez-Viera R. 2015. En prensa. Inoculantes microbianos y estimulantes. En: Avances de la Agroecología en Cuba. Eds. F Funes y L Vázquez. La Habana.
- González P, Navarro G, Fernández D, Camina F. 1996. La lombricultura. Una opción productiva. *Rev. Agricultura Orgánica*.2:1:1517.
- Hernández A, Morell F, Ascanio MO, Borges Y, Morales M, Yong A. 2006. Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de la provincia Habana. *Cultivos Tropicales*. 27:2:41-50.
- Monzote M, Funes-Monzote F. 1997. Integración ganadería– agricultura. Una necesidad presente y futura. *Revista Agricultura Orgánica*. 3:1:7.
- Monzote M, Funes-Monzote F, Serrano D, Suárez JJ, Martínez HL, Pereda J, Hernández J, González A, Rodríguez M y Pérez-Olaya LA. 1999. Diseños para la Integración ganadería – agricultura a

pequeña y mediana escala. Informe Final Proyecto CITMA 0800058.
Ciudad de La Habana: 426.

Ramón-Cuevas J, Morejón O, Ojeda M, Vale .1996. La lombricultura.
Una opción ecológica Rev. Agricultura Orgánica.2:1:13-15.



tierra viva

SOBERANÍA ALIMENTARIA

Amancio - Manzanillo

El desarrollo de la agroecología en Cuba es una estrategia clave a favor de la soberanía alimentaria, la sostenibilidad de las producciones y la calidad de las mismas como parte de un modelo de desarrollo social que toma en cuenta a las presentes y a las futuras generaciones. Este libro nace para apoyar a esta estrategia con conocimientos clave que nos permitan comprender las bases de la agroecología y aplicarlas en nuestras fincas.

Cada productor decidirá después cuáles son las prácticas agroecológicas más necesarias para el desarrollo de sus producciones. Este libro le ayudará a comprender por qué la agroecología funciona y cuáles son los aspectos que nunca debe de olvidar. Para ellos, el Proyecto Tierra Viva ha reunido a especialistas de ambos lados del océano para compartir sus experiencias en este libro lleno de saberes. Para que nuestras tierras estén siempre vivas, llenas de fertilidad y productividad. Para que las disfrutemos nosotros y nuestros hijos.

