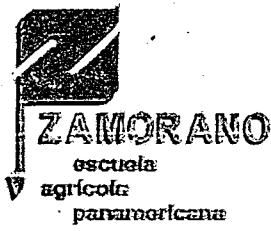


c.2



**CIIFAD**

*Un mundo desconocido:  
Los secretos de la vida del suelo  
y su papel en la agricultura sostenible*

# Memoria

Taller Internacional sobre  
Salud de Suelos



FROM  
THE LIBRARY OF  
**MICHAEL ZEISS**

El Zamorano, Honduras  
9-14 noviembre de 1997

210611

## Reconocimientos

Un amplio grupo de científicos y prácticos agrícolas trabajaron en conjunto para recolectar experiencias en el campo y llevar a cabo investigaciones colaborativas para realizar este evento. Se incluyen las siguientes personas:

- ◆ Dr. George Abawi, Nematólogo/Fitopatólogo, Universidad de Cornell
- ◆ Ing. Jon Hellin, Geógrafo, Instituto de Recursos Naturales (NRI)
- ◆ Ing. Sergio Larrea, Investigador de Campo, Instituto de Recursos Naturales (NRI)
- ◆ Dr. Eric Nelson, Microbiólogo, Universidad de Cornell
- ◆ Dr. Abelino Pitty, Malezas y Labranza, Zamorano
- ◆ Ing. Alfredo Rueda, Candidato a Ph.D., Entomología, Universidad de Cornell
- ◆ Dr. Raul Santillán, Pastos y Forrajes, Zamorano
- ◆ Dr. Ken Schlather, Científico de Suelos, Universidad de Cornell
- ◆ Ing. Stephen G. Sherwood, Extensionista MIP, CIIFAD/Cornell
- ◆ Ing. Matthew Thornton, Candidato a MPS, IARD/Agricultura Tropical, Universidad de Cornell
- ◆ Dra. Nicole Viaene, Nematóloga, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)
- ◆ Dr. Michael Villani, Entomólogo, Universidad de Cornell
- ◆ Ing. Robert Walle, Conservacionista de Suelos y Agua, Universidad de Florida
- ◆ Dr. Michael Zeiss, Entomólogo, Zamorano

Los organizadores desean agradecer el apoyo del Instituto Internacional para Alimentos, Agricultura y Desarrollo de la Universidad de Cornell (CIIFAD) y las organizaciones de los participantes por su apoyo financiero al evento. También, quieren agradecer el Departamento de Protección Vegetal (DPV) de Zamorano, que colaboró con CIIFAD para la organización del evento y el Centro Internacional de Tecnología de Semillas y Granos (CITESGRAN) que prestó sus instalaciones para las reuniones.

## Contenido

### Página

3	I. Introducción y descripción
6	II. Conceptos y términos relacionados con el aspecto físico del suelo, por el Ing. Roberto Walle
8	III. Introducción a la salud de suelos, por el Dr. Michael Zeiss
12	IV. Papel de los artrópodos en el suelo y los efectos de prácticas agrícolas sobre ellos, por el Dr. Michael Zeiss.
15	V. Microbiología de suelos, por el Ing. Matthew Thornton y el Dr. Eric Nelson
20	VI. Micorrizas, por el Ing. Galileo Rivas
24	VII. Nemátodos y patógenos del suelo, por la Dra. Nicole Viaene y el Dr. George Abawi
28	VIII. Recomendaciones para extensión e investigación sobre salud de suelos
32	XI. Evaluación del taller
34	X. Conclusión
36	ANEXOS
	A. Itinerario del taller
	B. Participantes y direcciones
	C. Materiales entregados a los participantes:
	D. Evaluaciones
	E. Referencias bibliográficas sobre salud de suelo

## *Un mundo desconocido: Los secretos de la vida del suelo y su papel en la agricultura sostenible*

Taller internacional sobre salud de suelos  
El Zamorano, Honduras  
9-14 Noviembre de 1997

### I. Introducción y descripción

En los últimos años, los prácticos agrícolas han incrementado sustancialmente su aprecio por el importante papel que juega el suelo en la agricultura sostenible, especialmente con relación al uso de enmiendas orgánicas para mejorar las condiciones de este. Sin embargo, las estrategias para el manejo del suelo tienden a hacer énfasis en manipulaciones físicas y químicas, mientras que ignoran el papel esencial de los organismos en el mantenimiento de un suelo de alta calidad y productividad. Por estas razones existe gran necesidad de integrar el manejo de componentes abióticos y bióticos para lograr y promover prácticas más sostenibles que favorezcan las cosechas, el medio ambiente y la gente.



Agricultores y expertos en el campo de la entomología, extensión, microbiología, nematología, fitopatología y ciencias del suelo están comenzando a integrar sus múltiples perspectivas para fomentar mayor conciencia sobre los procesos involucrados en la salud del suelo, especialmente en lo concerniente a la abundancia, diversidad y ecología de los organismos. Este taller sobre la vida del suelo fue parte de un esfuerzo colaborativo para inspirar nuevas formas de pensar sobre el suelo y su mejoramiento, así como desarrollar nuevas herramientas para analizar prácticas alternas de manejo para una agricultura más productiva y sostenible.

Esta memoria reúne las notas de presentaciones y los productos de algunas de las actividades de los participantes durante un curso de cinco días de duración. Los anexos incluyen información adicional acerca del taller y el tema general de salud de suelos. Aquí, no tratamos de documentar todas las actividades del taller (por ejemplo, no incluimos los métodos para analizar la vida del suelo). Más bien, este es el propósito de un trabajo futuro como respuesta a las necesidades expresadas en este primer taller — la producción de un manual sobre el tema.

Es cierto que nos falta mucho camino por recorrer. Entramos al taller esperando motivar a agricultores, extensionistas y científicos a ver de nuevo el suelo y reflexionar sobre nuestra agricultura y cómo se podrán lograr condiciones más favorables para una agricultura futura más viva y sostenible. Esperamos que esta actividad haya contribuido a estos fines.

## Objetivos del taller:

### Aprendizaje

- ◆ Describir la biología de los organismos del suelo, sus actividades en el mismo y el impacto en las características del suelo, la producción de cosechas y la salud ambiental.
- ◆ Explicar el impacto de las prácticas agrícolas en la abundancia y diversidad de organismos particulares del suelo y su papel en la sanidad vegetal y el medio ambiente.
- ◆ Inspirar una mayor investigación que facilite el aprendizaje sobre los efectos de ciertas prácticas agrícolas en la biología del suelo.

### Destrezas

- ◆ Demostrar y desarrollar nuevos procedimientos para la evaluación cuantitativa y cualitativa de la salud del suelo.

### Actitud

- ◆ Valorar la biología del suelo y el papel de prácticas culturales en el manejo de los organismos del mismo.
- ◆ Inspirar una mayor innovación agrícola a través del incremento del conocimiento sobre la biología del suelo.

## El taller:

El taller internacional sobre la vida del suelo se llevó a cabo durante la semana del 9 al 14 de noviembre 1997 en las instalaciones de Zamorano, Honduras. Zamorano ofrecía diversos campos bajo producción, amplio espacio de laboratorio y ambientes controlados para realizar actividades de capacitación (ver la agenda en el Anexo A). Además del equipo de instructores, participaron un total de 23 extensionistas agrícolas, investigadores aplicados y líderes campesinos. La mayoría de los participantes estaban involucrados en investigación aplicada y actividades de entrenamiento en áreas relacionadas con la salud del suelo (ver la lista de participantes en el Anexo B).

## Temas cubiertos:

- ◆ ¿Qué es el suelo y la vida del suelo?
- ◆ ¿Cuál es el impacto de las prácticas agrícolas convencionales en la vida del suelo?
- ◆ ¿Cuáles son las necesidades biológicas, químicas y físicas de los organismos del suelo?
- ◆ ¿Cómo pueden los campesinos evaluar la condición biológica de su suelo?
- ◆ ¿Cómo pueden los campesinos manipular la agroecología para favorecer a organismos benéficos del suelo y sus actividades para prevenir y suprimir problemas con plagas?
- ◆ ¿Cómo perciben los agricultores el suelo?

## Conceptos claves:

- a. Actividades de los variados grupos de organismos y su impacto en los factores físicos, químicos y productivos del suelo.
- b. Dinámicas poblacionales (abundancia y diversidad) de los organismos del suelo

- (organismos benéficos y plagas).
- c. Impacto de prácticas selectivas (cultivos de cobertura, abonos verdes, uso de aboneras, rotación, labranza, etc.) en los organismos del suelo y la capacidad de amortiguamiento del mismo.
  - d. Opciones culturales con base ecológica para manejar plagas del suelo y el impacto de estas alternativas en la productividad, el medio ambiente, la salud humana, etc.

**Prácticas de producción para comparación/evaluación:**

- ◆ Fertilizantes sintéticos vs. fertilizantes orgánicos, aboneras, abonos verdes y abonos animales
- ◆ Utilización de pesticidas (ej.: herbicidas vs. desmalezamiento manual, enmiendas orgánicas, etc.)
- ◆ Regímenes de labranza
- ◆ Secuencias de cultivos y otras modificaciones
- ◆ Estrategias de siembra

**Metodología del Taller:**

- ◆ Experiencial — Los participantes adquirieron conocimientos y desarrollaron habilidades a través de la observación, la experimentación y el trabajo en el campo.
- ◆ Enfoque en problemas actuales — Los temas y el enfoque de los tópicos surgieron de las necesidades expresadas por los participantes basadas en sus observaciones de campo y sus experiencias.
- ◆ Enfoque ecológico — Los instructores introdujeron y reforzaron los principios biológicos de la ecología natural del suelo para alentar a los participantes a evaluar cuidadosamente cómo pueden manejar en mejor forma los sistemas agrícolas para una mayor sostenibilidad y productividad.

## II. Conceptos y términos relacionados con el aspecto físico del suelo

Notas de la presentación  
*Ing. Roberto Walle*  
Universidad de Florida

### **¿Qué es un suelo?**

Un suelo es un cuerpo natural formado de la materia de origen en la superficie de la tierra, acondicionado durante el tiempo por topografía, condiciones climáticas y organismos.

### **Composición del suelo:**

sólida, líquida, gaseosa

### **Materia mineral:**

arena, limo, arcilla

### **Textura:**

La proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo.

### **Materia orgánica:**

Los compuestos orgánicos en el suelo, todos los restos de plantas y animales y los productos orgánicos de la transformación de esos residuos.

### **Humus:**

Influye en las propiedades físicas del suelo como la estructura y la capacidad de retener humedad. Es la principal fuente de nitrógeno y muchas veces de fósforo.

### **Estructura del suelo:**

La estructura del suelo es la manera en que los elementos que constituyen el suelo tienden a unirse entre ellos. Se puede decir que la estructura del suelo no es una propiedad sino un estado.

### **La importancia de la estructura del suelo:**

- ◆ Porosidad
- ◆ Drenaje y aireación
- ◆ Laboreo del suelo
- ◆ Penetración del sistema radicular
- ◆ Fertilidad general del suelo

**Densidad aparente:**

La masa de una unidad de volúmen de suelo seco; este puede incluir tanto los sólidos como los espacios porosos.

**Factores que afectan la densidad aparente:**

- ◆ Textura
- ◆ Estructura
- ◆ Compactación
- ◆ Laboreo
- ◆ Materia orgánica

**Permeabilidad del suelo:**

La propiedad que presenta el dejar pasar el agua a través de su masa hasta las capas más profundas. Depende principalmente de los macroporos del suelo.

**Otros factores incluyen:**

- ◆ Contenido inicial de humedad
- ◆ Textura
- ◆ Estructura
- ◆ Costras superficiales
- ◆ Pisos de arados

### III. Introducción a la Salud de Suelos

Notas de la presentación  
Dr. Michael R. Zeiss  
Zamorano

#### ¿Qué es un suelo saludable?

Para saber qué terreno comprar, tal vez las características físicas/químicas suficientes serían las siguientes:

- ◆ Porción mineral (incluyendo nutrientes)
- ◆ Porción de agua
- ◆ Porción de aire

Para saber cómo manejar su campo, hay que incluir la vida dentro del suelo. Por ejemplo, las lombrices de tierra mejoran la infiltración de agua.



#### ¿Qué quiere decir la vida del suelo?

1. Plantas (raíces y semillas):
  - Cultivo
  - "Buenezas"
  - Malezas
2. Lombrices de tierra
3. Insectos y otros artrópodos
4. Nemátodos (gusanos pequeños)
5. Hongos (crecen en forma de hilos)
6. Microbios de células individuales:
  - Bacterias
  - Actinomicetos
  - Protozoarios

#### ¿Qué hace la vida del suelo?

Algunos organismos son nocivos:

- Gallina ciega
- Pseudomonas solanacearum* (causa marchitez en tomate)
- Nemátodos agalladores

"La mejor defensa contra plagas no es un campo estéril, sino un campo lleno de vida."

Sin embargo, la gran mayoría de organismos del suelo son inofensivos o benéficos, y aportan las siguientes contribuciones:

1. Mejoran infiltración y aireación:
  - Lombrices de tierra
  - Bacterias producen "pegamento"
2. Fijan nitrógeno
3. Aumentan la disponibilidad de otros nutrientes:
  - Demasiado profundo: buenezas
  - En una forma no "digerible": cambios químicos hechos por bacterias
  - Concentración demasiado baja: microrrizas
4. Reducen la toxicidad a plantas de:
  - Sales
  - Extremos de pH
  - Otras sustancias (por ejemplo, la plaguicida Counter)
5. Controlan plagas:
  - Depredadores (cazadores): insectos, nemátodos, protozoarios
  - Patógenos (causan enfermedades): bacterias y hongos atacan insectos y nemátodos
  - Competidores (competencia entre microbios)

### **¿Qué es un amortiguador?**

Sustancias químicas (producidas por microbios) que ayudan a mantener el equilibrio del suelo. Para mantener un equilibrio, no es suficiente no hacer nada, sino, hay que tener dos fuerzas opuestas.

Por ejemplo:

Su cuerpo tiene:

- Capacidad de aumentar su temperatura (al digerir comida)
- Capacidad de bajar su temperatura (sudando)

Para mantener un buen equilibrio de pH y concentraciones de sales, el suelo también requiere pares de químicos:

- Un químico luchando por aumentar el pH
- El otro por bajar el pH

### **¿Cómo la vida del suelo ayuda a mantener el equilibrio entre organismos?**

Debido a la estabilidad de la comunidad de organismos, la mejor defensa contra las plagas no es un campo estéril, sino un campo lleno de vida. Por esto, el yogur, la crema ácida y el vino se almacenan por mucho tiempo.

Diversidad (no solamente abundancia) es importante para:

- Poder contrarrestar/contrapesar diversos problemas (plagas, químicos)
- Asegurar el uso más completo y eficiente de los recursos

### **¿Cómo colaboran los diversos organismos?**

- Pedazo de materia orgánica
- Insecto
- Nematodo
- Bacterias

Analogía: una comunidad de personas  
Inicialmente: solamente hay agricultores  
Posteriormente: vendedores de herramientas  
Finalmente: zapateros para los vendedores, etc

Diversidad promueve experiencia, eficiencia y estabilidad.

Ej: gallinaza es desecho para un productor de pollos y fertilizante para un productor de hortalizas.

Plantas/hierbas  
Lombrices  
Insectos  
Nematodos  
Hongos  
Bacterias

Como necesitamos una comunidad bien desarrollada, la diversidad representa un indicador apropiado (Ej: presencia de "zapateros para vendedores").

#### **¿Producción/rendimiento?**

Importantísimo, pero no siempre relacionado con salud como tal. Por ejemplo, un suelo excelente, pero no saludable, puede ser bien productivo, entonces.....

#### **¿Qué es la salud de suelo?**

1. Buena condición física, incluyendo materia orgánica
  - Efectos directos sobre cultivo
  - Efectos indirectos, por medio de organismos
2. Buena cantidad y equilibrio entre nutrientes, incluyendo pH
  - Efectos directos sobre cultivo
  - Efectos indirectos, por medio de organismos
3. Alta diversidad de organismos vivos (para que ninguna especie pueda crecer demasiado)
  - Competencia
  - Enemigos naturales
4. Bajas cantidades de organismos nocivos

#### **¿Cómo lograr un suelo saludable?**

1. Proporcionar las necesidades a los organismos
  - Comida: materia orgánica
  - Otras necesidades (humedad, temperatura, pH, aireación, etc.)
2. Reducir toxinas (insecticidas, fungicidas, herbicidas)
  - Efectos sobre un mismo organismo
  - Efectos sobre su comida
3. Dejar la comunidad de organismos sin romperla (ej. labranza cero)
4. Liberar organismos benéficos
  - Compost o "bokachi"
  - Productos comerciales (SoilGuard, Kodiak)

**¿Cómo medir la salud de su suelo?**  
Abundancia y diversidad de cada grupo

## IV. Papel de los artrópodos en el suelo y los efectos de prácticas agrícolas sobre ellos

Notas de la presentación  
Dr. Michael Zeiss  
Zamorano

### ¿Cómo viven los insectos del suelo?

1. Comen materia orgánica y hongos:
  - Symphyla
  - Pauropoda
  - Acaros (algunos)
  - Protura
  - Diplura (algunos)
  - Collembola
  - Gusanos de moscas (algunos)
  - Gusanos de escarabajos (algunos)
  - Termitas (algunos)
2. Comen insectos pequeños:
  - Diplura (algunos)
  - Acaros (algunos)
  - Gusanos de moscas (algunos)
3. Comen plantas vivas:
  - Gusanos de escarabajos (algunos)
  - Gusanos de palomillas
  - Grillos y grillotopos
  - Termitas (algunos)
  - Hormigas (algunos)
  - Gusanos alambre (incluyendo adultos)



### Comen plagas de plantas:

- Diplura (algunos)
- Acaros (algunos)
- Gusanos de moscas (algunos)
- Hormigas (algunas)
- Tijeretas
- Escarabajos de tierra
- Escarabajos tigre
- Escarabajos del diablo

### ¿Qué hacen los insectos del suelo?

1. Favorecen a los microbios benéficos:
  - Reducen el tamaño de pedazos de materia orgánica
  - Mueven los pedazos, les dan la vuelta
2. Mejoran la estructura del suelo:
  - Producen excremento que sirve como pegamento
  - Hacen túneles (poros)

3. Controlan algunas plagas:  
 Comen de preferencia hongos fitopatógenos  
 Comen nemátodos  
 Comen otros insectos

**¿Qué se debe medir para la investigación sobre insectos del suelo?**

1. Abundancia y biomasa de algunos insectos específicos.
2. Abundancia y biomasa de grupos funcionales (depredadores?).
3. Biodiversidad: número de especies como tal, y dominio por algunas especies.
4. Modificaciones de la estructura del suelo.

**¿Cómo las prácticas agrícolas afectan insectos y artrópodos?**

	Labranza	Cultivos cobertura	Abono verde/ estiercol
Afectan la comunidad dentro del suelo	X	?	X
Destrucción física de plagas	X		
Afecta la superficie (color, forma) (malezas)	X	X	

**¿Cómo las prácticas agrícolas afectan la comunidad de animales en el suelo?**

	AUMENTA DIVERSIDAD	REDUCE DIVERSIDAD
Labranza		X
Rotación		X
Monocultivo		X
Policultivo	X	
Plaguicidas		X
Fertilizantes	X	

**EFFECTO DE LABRANZA CERO SOBRE ALGUNOS INSECTOS**

GRUPO INSECTOS	Coleman & Crossley	Dejud 1991	Godoy 1992	Godoy 1993
<b>VIDA DENTRO</b>				
Acaros	↑			
Collembola	↑			
Lombrices	↑			
<b>INMADUROS DENTRO</b>				
Escarabajos	↑			
Arañas	↑			
Zompopos			↑	↑
Corolillo			↑	↑
Crisomélidos		↑	↑	↑
Babosas			↑	
Gallina ciega		↓	↓	↓
<b>INMADUROS AFUERA</b>				
Mosis		↕	↑	↑
Cogollero		↓	↓	↓
Barrenador		↕	↑	↓
Lorito verde				

## V. Microbiología de suelos

Notas de la presentación  
Dr. Eric Nelson e Ing. Mateo Thornton  
Universidad de Cornell

Comparando tamaños promedios relativos de los organismos del suelo (en orden del más grande al más pequeño):

- Insectos - .002 - 200mm
- Límite del ojo humano -.3 - .5mm — lo más pequeño que vemos a simple vista
- Nemátodos - .3mm
- Espora de hongos - .01 - .02mm
- Célula de bacteria - .001 - .003mm
- Espora de actinomiceto - .005 - .007mm

### ¿Por qué nos interesan los microorganismos?

Son sensibles a cambios en el suelo. Podrían ser buen indicador de los efectos de prácticas agrícolas.

Esto es porque se reproducen rápidamente.

Poblaciones se adaptan a sus ambientes. La clase de microorganismos presentes en un suelo podría decirnos algo sobre el estatus o "salud" del mismo.

Son la base de casi todos los procesos del suelo.



**Punto clave:** Los microbios tienen mayor efecto como poblaciones, individualmente no nos afectan tanto. La presencia de microbios maléficos no es importante si el suelo tiene un buen balance. UN SUELO SANO NO ES UN SUELO ESTERIL. Un suelo sano tiene una buena diversidad y abundancia de microorganismos con sus poblaciones controladas por la competencia por recursos y los efectos directos supresivos de antagonistas (organismos benéficos para el cultivo).

### Microorganismos

Los microorganismos juegan un papel muy importante en:

- ◆ Ciclo de nutrientes
- ◆ Desintegración de materia orgánica
- ◆ Mantenimiento de la estructura del suelo
- ◆ Crecimiento y desarrollo de plantas:
- ◆ Por relaciones simbióticas
- ◆ Por medio de hormonas, resistencia a enfermedades y plagas (competencia y "resistencia sistémica inducida")

### Su fisiología:

Los microorganismos viven en varios ambientes bajo una variedad de condiciones:

- ◆ Aeróbicos - requieren oxígeno
- ◆ No-aeróbicos - existen sin oxígeno

- ◆ Autotróficos - fijan carbono del aire
- ◆ Heterotróficos - usan carbono de varias fuentes orgánicas, vivas y muertas
- ◆ Saprófitos - viven de materia orgánica (muerta)
- ◆ Parásitos - viven de organismos vivos
- ◆ Simbióticos - asociados con organismos vivos
- ◆ Mesófilos y Termófilos — viven en rangos específicos de temperatura (de 24 a 45 y 45 o más grados centígrados)

#### **Propiedades de los hongos:**

Crecen en forma de filamentos (hilos)

- ◆ Son multicelulares
- ◆ Se reproducen por medio de esporas y en forma vegetativa
- ◆ Esporas pueden sobrevivir en el suelo por mucho tiempo
- ◆ Son clasificados por su morfología
- ◆ Casi todos son saprófitos (no nos causan daño)
- ◆ No se sabe cómo cultivar muchos de ellos en el laboratorio

#### **Propiedades de las bacterias:**

- ◆ Son de una sola célula
- ◆ Se reproducen por división de células
- ◆ No se sabe cómo cultivar muchos de ellos en laboratorio
- ◆ Se reconocen por su fisiología y materia genética "ADN"

#### **Los actinomicetos:**

- ◆ Son bacterias con filamentos
- ◆ Producen muchas esporas
- ◆ Crecen lentamente
- ◆ Producen antibióticos
- ◆ Predominan en suelos básicos y secos, no toleran suelos ácidos
- ◆ Cuesta identificarlos

#### **Las algas:**

- ◆ Fotosintéticas — fotoautotróficas y pueden aprovechar el sol como las plantas
- ◆ Multi y unicelulares
- ◆ Única fuente de carbono en el suelo además de emmiendas orgánicas y exudados radiculares
- ◆ Forman simbiosis importantes
- ◆ Muy sensibles a herbicidas
- ◆ Afectan la estructura del suelo

#### **Los protozoos:**

- ◆ Unicelulares
- ◆ Heterotróficos - se alimentan de materia orgánica viva y muerta

- ◆ Se reproducen por división celular
- ◆ Se alimentan de bacteria

**Actividades de las bacterias en el suelo:**

- ◆ Decomponer materia orgánica y pesticidas
- ◆ Control biológico de plagas
- ◆ Fijan nitrógeno
- ◆ Formación de agregados
- ◆ Transformación de nutrientes potasio, fósforo, magnesio, hierro, azufre

**Bacterias comunes del suelo:**

- ◆ *Acentobacter* - degrada M.O. y ciclaje de nutrientes
- ◆ *Arthrobacter* - degrada M.O. y controla enfermedades
- ◆ *Azospirillum* - fija N, promueve crecimiento en plantas
- ◆ *Bacillus* - control de plagas y enfermedades
- ◆ *Bradyrhizobium* - fija N
- ◆ *Burkholderia* - control de enfermedades y nutrient cycling
- ◆ *Enterobacter* - control de enfermedades
- ◆ *Flavobacterium* - crecimiento de plantas, nutrientes

**Actividades de los hongos en el suelo:**

- ◆ Descomposición de materia orgánica
- ◆ Parasitismo de plantas, microbios, insectos, animales
- ◆ Simbiosis - mycorrhizae facilita la absorción de nutrientes, produce reguladores de crecimiento que estimula crecimiento en la planta, y mejora la solubilidad de fósforo
- ◆ Control biológico de plagas

**Unos de los hongos del suelo:**

- ◆ *Aspergillus* - degrada materia orgánica
- ◆ *Chaetomium* - controla enfermedades
- ◆ *Fusarium* - fitopatógeno, induce "Resistencia Sistémica"
- ◆ *Gladiatum* - control de enfermedades
- ◆ *Mortierella, Mucor* - ciclaje de nutrientes
- ◆ *Penicillium* - degrada materia orgánica y controla enfermedades.
- ◆ *Rhizopus* - patógeno y ciclaje de nutrientes
- ◆ *Trichoderma* - control de enfermedades

**Actividades de actinomicetos en el suelo:**

- ◆ Descomposición de materia orgánica
- ◆ Control biológico de plagas
- ◆ Actinomicetos comunes:
  - Actinoplanes*
  - Micromonospora*

*Nocardia*

*Streptomyces* (materia prima de estreptomina)

**Habitat de los microorganismos:**

- ◆ Rhizosfera — Zona alrededor de las raíces
- ◆ Espermósfera — Zona alrededor de las semillas
- ◆ Materia orgánica
- ◆ Superficies minerales

**Los microbios juegan un papel muy importante en el ciclaje de nitrógeno en el suelo:**

- ◆ N<sub>2</sub> - Atmosférico
- ◆ N - Orgánico o por fijación
- ◆ NH<sub>3</sub> - Amonificación
- ◆ NO<sub>3</sub> - Nitrificación
- ◆ N<sub>2</sub> - Denitrificación

**Lo que afecta la actividad y la población microbiana:**

- ◆ Humedad del suelo
- ◆ Temperatura del suelo
- ◆ Cantidad y calidad de materia orgánica
- ◆ Aireación del suelo

**Maneras de aumentar la vida microbiana en el suelo:**

- ◆ Inocularlo con microbios
- ◆ Enmiendas orgánicas
- ◆ Rotación de cultivos
- ◆ Prácticas de labranza

**Un suelo saludable afecta el bienestar de las plantas de una manera activa y directa:**

- ◆ Estimula resistencia
- ◆ Estimula crecimiento de la planta
- ◆ Suprime patógenos y enfermedades

**Patógenos y enfermedades suprimidas por el compost:**

- ◆ Pudrición de semilla
- ◆ Mal del talluelo
- ◆ Pudriciones radiculares
- ◆ Marchitez
- ◆ Tizón temprano y tardío

**Porcentaje de antagonistas (benéficos) encontrados en el compost**

- ◆ Compost industrial '92 86%
- ◆ Gallinaza 68%
- ◆ Deshechos de cocina 69%
- ◆ Residuos del solar 100%

## VI. Micorrizas

Notas de la presentación  
Ing. Gonzalo Galileo Rivas-Platero  
CATIE/AATS

### Introducción

Las micorrizas son el término que alude a la relación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta. La gran mayoría de las plantas que encontramos en el planeta, presentan estas asociaciones mutualísticas (Shenck 1981, Honrubia *et al.* 1995).

Este tipo de mutualismo es ampliamente notable, tanto así, que más del 95% de las plantas existentes, establecen micorrizas en condiciones naturales. De tal forma que la presencia de esta asociación revierte importancia en los procesos de absorción de agua y nutrición mineral de las plantas.

Desde la óptica anterior, la simbiosis entre ambos organismos es un proceso de coevolución entre plantas y hongos; esta situación ha sido demostrada a través de la evidencia encontrada en restos fósiles de hace más de 400 millones de años, que indican que las plantas más primitivas estaban micorrizadas.

Los hongos formadores de micorriza se encuentran en la mayor parte de los suelos y deben ser considerados como un recurso biológico de la diversidad de especies existentes en los ecosistemas terrestres.

Según Guerrero (1996), la investigación con micorrizas posee variados alcances de aplicación:

- ◆ Aprovechamiento eficiente de fertilizantes
- ◆ Aumento de la productividad vegetal
- ◆ Tolerancia a patógenos edáficos
- ◆ Recuperación de suelos degradados
- ◆ Tolerancia a estrés hídrico
- ◆ Regeneración de comunidades vegetales naturales
- ◆ Reforestación

### Tipos de micorrizas

Para fines prácticos se han establecido dos grupos de micorrizas: 1) micorriza endotrófica o endomicorriza, esta se presenta cuando el micelio fúngico penetra en el interior de las células del cortex radical y 2) micorriza ectotrófica o ectomicorriza, cuando el micelio fúngico no penetra el cortex radical. En vez de ello organiza una envoltura alrededor de las raíces micorrizadas, denominado manto (Honrubia *et al.* 1995).

Las endomicorrizas son formadas en las raíces de plantas en muchas familias, generalmente por las clases de hongos Zigomicetos y Basidiomicetos. En este tipo predominan las micorrizas vesículo arbusculares (MVA) de la familia Endogonaceae (Zigomicetos). Estos hongos muestran ensanchamientos en las hifas terminales, vesículas, que son órganos de

reserva. Asimismo, forman arbuscúlos que son estructuras intracelulares parecidas a un haustorio (Schenk 1981 y Honrubia *et al.* 1992). Algunos géneros característicos son *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutelospora*, etc.

Mientras que, las ectomicorrizas aparecen comúnmente en especies de árboles forestales de las familias Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae, etc. Los hongos forman el ya mencionado manto y el micelio fúngico penetra intercelularmente el cortex radical y origina un entramado denominado red de Hartig (Honrubia *et al.* 1992). Algunos basidiomicetos clasificados como hongos ectomicorrícicos son los siguientes:

*Amanita*, *Boletus*, *Lactarius*, *Russula*, *Tricholoma*, *Pisolithus*, *Rhizopogon*, *Suillus* y *Scleroderma*; ascomicetos: *Tuber* y deuteromicetos: *Cenococcum* (Miller 1982).

### La infección micorrícica

La infección que realiza un hongo micorrícico en la raíz de un hospedante no equivale a la que realiza un patógeno, más que una infección, esta es una colonización que no se relaciona con la relación parásito-hospedante (Guerrero 1996).

### El proceso de colonización involucra las siguientes etapas:

- a) Pre-infección
- b) Penetración
- c) Germinación-colonización
- d) Diseminación y desarrollo del micelio interno
- e) Diseminación y desarrollo del micelio externo
- f) Esporulación del hongo
- g) Re-infección

La pre-infección se asocia con la actividad de los propágulos infectivos presentes en el suelo que rodean a la raíz; estos propágulos pueden ser esporas o micelio fúngico (presente en raicillas o segmentos de raíz infectados).

La germinación de esporas es estimulada por la producción de exudados radicales (Daniels 1984, Gianinazzi-Pearson *et al.* 1996). Cuando germina, el tubo germinativo se dirige hacia la rizosfera y se proyecta hasta encontrar la superficie de la raíz. Posteriormente, ocurre la penetración con la formación de un punto de entrada que se caracteriza por la formación de un apresorio en el punto de contacto sobre la superficie de la raíz. Cada espóra origina un solo puerto de entrada, mientras que una porción de micelio puede crear varios. Aún no se ha esclarecido si el proceso de penetración es un proceso químico, enzimático o mecánico.

Cuando el hongo penetra se establece una "unidad de colonización", ésta avanza entre las células corticales que generan estructuras características, como los arbuscúlos y las vesículas. Cuando el avance intercelular se completa, ocurre el desarrollo de micelio externo, el cual le permite al hongo reinfectar al mismo sistema de raíz del cual se originan. Este proceso de colonización puede trasladarse a sistemas radiculares vecinos de la misma o diferente especie de planta.

## Taxonomía

### Micorriza arbuscular

La sistemática de estos hongos establece que pertenecen a la clase de los Zigomicetos y al orden Glomales. Sobresalen las familias Glomaceae (*Glomus* y *Sclerocystis*); Acaulosporaceae (*Acaulospora* y *Entrophospora*) y Gigasporaceae (*Gigaspora* y *Scutellospora*) (Morton y Benny 1990).

### Ectomicorrizas

Los hongos ectomicorrícicos se agrupan en las subdivisiones de los Basidiomicetos y Ascomicetos. Los Basidiomicetos incluyen las clases Gasteromicetos e Himenomicetos; sobresalen los órdenes de los Agaricales con las familias Tricholomataceae (*Tricholoma*, *Armillaria*, *Laccaria*, etc.); Boletaceae (*Macrolopiota*, *Boletus*, *Boletellus*, etc.); Amanitaceae (*Amanita*, *Pluteus*, *Volvariella*, etc.); Russulaceae (*Russula*, etc.), etc. Asimismo, los Hymenogastrales con la familia Hymenogasteraceae (*Hymenogaster*); etc. Mientras que en los Ascomicetos aparece la familia de los Tuberales con las familias Elaphomycetaceae (*Elaphomyces*); Tuberaceae (*Tuber*), Pyrenomataceae (*Geopora*), etc. (Orozco 1996).

### Micorrizas y patógenos

Diversas experiencias han documentado que árboles y plantas micorrizadas son más tolerantes a los patógenos. Algunos hongos como *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Thielaviopsis* y *Verticillium* disminuyen acentuadamente su efecto negativo cuando existe la presencia de micorrizas (Dehne 1982). También, los nemátodos no escapan de esta situación; por ejemplo, nemátodos endoparásitos como *Meloidogyne* spp. ven suprimida su actividad cuando existen en la rizosfera MVA como *Glomus* o *Gigaspora* que hacen decrecer su tasa de reproducción (Hussey y Roncadori 1982). Así mismo, la incidencia de plantas de tomate infectadas con la bacteria *Pseudomonas solanacearum* se reduce cuando en la rizosfera se encuentran hongos micorrícicos (Halos y Zorilla 1979).

Diferentes hipótesis se han formulado sobre el posible modo de acción de las micorrizas sobre los patógenos; algunas de ellas establecen que las micorrizas modifican la rizosfera estimulando una microflora antagonista hacia los patógenos del suelo. En el caso de las ectomicorrizas, se cree que estas forman una barrera que limita la penetración de patógenos y que algunas especies puedan producir compuestos fungistáticos que inhiban el desarrollo de organismos parásitos. Asimismo, la promoción del crecimiento en plantas micorrizadas se ve mejorada por la absorción de nutrientes como el potasio que contribuyen a la defensa de las plantas contra agentes causales de enfermedades. Asimismo la lignificación de las células las hace menos susceptibles a los procesos de colonización e invasión por parte de microorganismos. Por otro lado, la concentración de altos niveles de aminoácidos como la arginina, inducido por las micorrizas puede reducir la esporulación de ciertos hongos como *Thielaviopsis*; también la elevada presencia de fenoles en plantas micorrizadas ha sido determinante para inhibir el crecimiento de hongos tipo *Sclerotium* (Schenk 1981, Dehne 1982, Bagyaraj 1986).

## Atributos de las micorrizas

- ◆ Mejoran el crecimiento de las plantas en suelos poco fértiles.
- ◆ Aumentan la capacidad de absorción de minerales relativamente inmóviles, como el fósforo, en la planta.
- ◆ Mejoran el transporte y absorción del agua en la planta
- ◆ Disminuyen el estrés debido a altas temperaturas, transplante, desbalance nutricional, etc
- ◆ Pueden reducir el efecto de la interacción patógeno-hospedante

El empleo de micorrizas es especialmente útil en áreas donde la concentración de hongos micorrícicos nativos es baja y por lo tanto deficiente; sobretodo en suelos fumigados de los viveros, suelos erosionados o con rastrojos y en sitios en donde la densidad natural de vegetación es poca, como en las zonas semiáridas. Un incremento de la concentración de hongos en estas áreas, aumenta el beneficio de los cultivos y la productividad del terreno (Sierverding 1989).

## Citas

- Bagyaraj, D.J. 1986. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In: C.Ll. Powel and D.J. Bagyaraj (eds.) VA Mycorrhiza CRC Press. Florida. p:131-153.
- Daniels, B.A. 1984. Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: VA Mycorrhiza. C.L. Powell & D.J. Bagyaraj, CRC Press. Florida. p:35-55.
- Dehne, H.W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* 72(8): 1115-1119.
- Gianinazzi-Pearson, V.; Dumas-Gaudot, E.; Gollotte, A.; Tahiri-Alaoui, A.; Gianinazzi, S. 1996. Cellular and molecular defence-related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 133:45-57.
- Guerrero Forero, E. 1996. Micorriza: fundamentos biológicos y estado del arte. In: Micorrizas. Recurso biológico del suelo. E. Guerreiro Forero (ed.) Bogotá. FONDO FEN, pp:3-46.
- Halos, P.M.; Zorrilla, R.A. 1979. Vesicular-arbuscular mycorrhizae increase growth and yield of tomatoes and reduce infection by *Pseudomonas solanaceraum*. *Phil. Agr.* 62:309-315.
- Honrubia, M.; Torres, P.; Diaz, G. Cano, A. 1992. Manual para micorrizar plantas en viveros forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Madrid. 46p.
- Honrubia, M.; Torres, P.; Diaz, G. Morte, A. 1995. Biotecnología forestal: Técnicas de micorrización y micropropagación de plantas. Murcia: Secretariado de Publicaciones, Universidad de Murcia. España. 86p.
- Hussey, R.S.; Roncadori, R.W. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhizae may limit nematode activity and improve plant growth. *Plant Disease* 66(1): 9-14.
- Miller, O.K. 1982. Taxonomy of ecto-and ectendomycorrhizal fungi. In: Methods and Principles of Mycorrhizal Research. N.C. Shenk (ed.) APS Press. St. Paul-Minnesota. p: 91-101.
- Morton, J.B.; Benny, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471- 491.
- Orozco, C. 1996. Ectomicorrizas en plantaciones forestales. In: Micorrizas. Recurso biológico del suelo. E. Guerreiro Forero (ed.) Bogotá. FONDO FEN, pp:105-124.
- Schenk, N.C. 1981. Can mycorrhizae control root disease. *Plant Disease* 65(3):230-234.
- Sieverding, E. 1989. La micorriza un componente biotecnológico en la producción forestal. *Ciencia y Tecnología (Col.)* 7(1) 9-11.

## VII. Nemátodos y patógenos del suelo

Notas de la presentación

*Dra. Nicole Viaene*

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)  
y *Dr. George Abawi*, Universidad de Cornell

### Introducción

Los nematodos son animales, la mayoría vermiformes con un tamaño entre 0.3 y 2 mm. Hay tres tipos de nematodos según el hábito alimenticio: nematodos fitoparásitos (con estilete), nematodos zooparásitos (con diente) y nematodos "de vida libre" o saprófitos. Los nematodos mudan; el ciclo de vida contiene huevos, cuatro estados de juveniles y adultos. Tienen un papel importante en la salud del suelo y pueden servir como indicadores para evaluar la abundancia y diversidad de los organismos del suelo. Los nematodos más conocidos son los nematodos fitoparásitos, porque causan daño a los cultivos, aunque los síntomas no siempre son reconocidos.

### Laboratorio

La toma de muestras de suelo para detección e identificación de nematodos debe hacerse con mucho cuidado, porque estos se encuentran en focos en el campo (distribución muy agregada). Hay diferentes métodos para extraer los nematodos del suelo o de las plantas: basados en su tamaño (con tamices), en su movimiento (embudo de Baermann) o densidad (centrifugación con azúcar). Es necesario cortar o licuar raíces para extraer los nemátodos. Los detalles de cada método y de la toma de muestras pueden encontrarse en las hojas de información distribuidas durante el curso (Ver Anexo C). Al observar con detenimiento las raíces, es posible detectar el daño causado por nemátodos (como agallas, necrosis, raíces poco desarrolladas o con apariencia de ser cortadas), pero es mejor extraer los nemátodos y observarlos a través del estereoscopio o microscopio para estar seguro. También se podría hacer un bioensayo, por ejemplo con lechuga, para la detección del nemátodo agallador.

**El manejo agronómico y patógenos del suelo:** La cantidad de daño causado por nematodos y patógenos depende de la población inicial del organismo en el suelo. Además, el manejo para controlar estos organismos es reducir las poblaciones por debajo del umbral de daño ocasionado. El manejo agronómico también tiene impacto sobre los nematodos no fitoparásitos y sobre los hongos y bacteria que no son patógenos de plantas, pero existen pocos estudios definitivos. Los manejos que generalmente impactan la cantidad y calidad de poblaciones de nematodos, hongos y bacteria en el suelo son: aplicación de nematicidas y fungicidas, cultivo de plantas de cobertura y su incorporación al suelo, rotación, enmiendas orgánicas, barbecho, inundación, tratamiento con calor (solarización), aplicación de compost y control de malezas.



Es muy importante saber si las plantas de cobertura o plantas utilizadas en rotación son hospederas de nemátodos (u otros patógenos). Además, es muy importante conocer la influencia de prácticas específicas sobre las poblaciones de nematodos.

#### Densidades de nematodos en el suelo:

◆ Desierto	760,000/m <sup>2</sup>
◆ Pradera	2,190,000/m <sup>2</sup>
◆ Bosques tropicales	1,700,000/m <sup>2</sup>
◆ Bosques latifoliados	6,270,000/m <sup>2</sup>

#### Nematodos:

- ◆ Animales pequeños (mayoría 0.3mm-2mm)
- ◆ Forma de gusano (vermiforme)
- ◆ Acuáticos
- ◆ No segmentado
- ◆ No tienen color
- ◆ No tienen un sistema respiratorio o sanguíneo
- ◆ Tienen un sistema excretorio y reproductivo
- ◆ Estilete - nemátodo fitoparásito
- ◆ Diente - nemátodo zooparásito
- ◆ Cavidad - nemátodo "de vida libre" (micróvoro)

#### Hábitos alimenticios:

- Endoparásito - Penetra la raíz y se alimenta internamente
- Ectoparásito - No penetra la raíz y se alimenta de las células cerca de la superficie
- Sedentario - Se mantiene sesil en el sitio de alimentación
- Migratorio - Se mueve a varios sitios para alimentarse

#### Síntomas de daño en partes aéreas de la planta:

- ◆ Crecimiento reducido
- ◆ Marchitez
- ◆ Síntomas de deficiencias nutricionales
- ◆ Crecimiento de parches (focos)
- ◆ Reducción en rendimiento y calidad de la cosecha
- ◆ Plantas se caen (banano)

#### Síntomas de daño en las raíces:

- ◆ Nudos o agallas
- ◆ Lesiones y necrosis
- ◆ Ramificación excesiva
- ◆ Reducción en el tamaño y del sistema radicular
- ◆ Puntos de raíces abultadas

**La influencia de los nematodos en la salud del suelo:**

- ◆ Descomposición de materia orgánica —> estructura del suelo
- ◆ Mineralización de nutrientes en el suelo
- ◆ Control biológico de otros nemátodos, de insectos, bacteria y hongos
- ◆ Fitoparásitos (parásitos obligatorios)

Existen aproximadamente 500,000 especies de nemátodos, pero pocos son conocidos, donde  $\pm$  1500 especies son fitoparásitos.

**Uso de nemátodos como indicadores de salud del suelo:**

- ◆ Extracción es fácil
- ◆ Ennumeración es fácil
- ◆ Son muy sensitivos a los cambios en el ambiente
- ◆ Ciclo de vida es corto —> cambios en el ambiente se manifiestan rápido

**Mecanismos de supresión:**

- ◆ Producción y liberación de sustancias tóxicas

**Incrementar la actividad microbiológica limita la oportunidad de dominar de los patógenos del suelo:**

- ◆ Competencia por nutrientes
- ◆ Producción de componentes tóxicos
- ◆ Competencia por sitio de establecimiento
- ◆ Parasitismo

**Prácticas de manejo para manejar los nematodos fitoparásitos en el suelo:**

- ◆ Nematicidas
- ◆ Plantas de cobertura
- ◆ Rotación
- ◆ Barbecho
- ◆ Inundación
- ◆ Tratamiento con calor - solarización de suelo
- ◆ Plantas/variedades resistentes
- ◆ Control de malezas hospederas

**Prácticas de manejo de las enfermedades de la raíz en el suelo:**

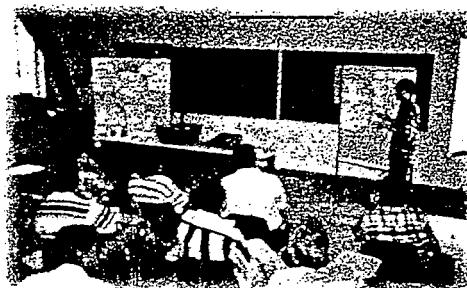
- ◆ Condiciones del suelo en el momento de la siembra
- ◆ Rotación
- ◆ Cobertura (mulch)
- ◆ Enmiendas
- ◆ Plantas de cobertura
- ◆ Labranza y camas

**Patógenos de suelos y enfermedades radiculares:**

- ◆ Predominantes en sistemas de producción convencionales
- ◆ Raros en ecosistemas naturales/no perturbados
- ◆ Causadas principalmente por hongos y nemátodos
- ◆ Son comunes los complejos de enfermedades radiculares (CER)
- ◆ C.E.R. varían de acuerdo a la región y al sistema de producción
- ◆ Caños debidos a C.E.R. son mayores cuando las condiciones del suelo son pobres
- ◆ Siembras consecutivas de cultivos susceptibles incrementan el C.E.R.
- ◆ Las raíces infectadas son menos eficientes en la absorción de agua y nutrientes
- ◆ C.E.R. predispone la planta a stress físico y biológico
- ◆ Control integrado es la estrategia más utilizada
- ◆ El control integrado incluye prácticas culturales como el uso de la materia orgánica, etc.

## VIII. Recomendaciones para extensión e investigación sobre salud de suelos

I. Desde la perspectiva del agricultor y el extensionista "Se necesita capacitación sobre la importancia de los organismos e información sobre los principios y el impacto de prácticas en sí mismo."



### **Necesidades generales:**

- ◆ Definir criterios de muestreo
- ◆ Enseñar la técnica del bioensayo
- ◆ Diseñar métodos de muestreo integral e indicadores sencillos de salud del suelo
- ◆ Identificar indicadores importantes y prácticas
- ◆ Poder diferenciar entre organismos benéficos y plagas a nivel del campo
- ◆ Relacionar la abundancia y diversidad de la vida en el suelo con la productividad del mismo
- ◆ Más información, materiales, intercambio con otros grupos interesados en el tema y más cursos

### **Mensajes que deben llegar al campo:**

- ◆ Que la vida del suelo es diversa
- ◆ Hay que conocer esta vida
- ◆ La importancia de la biodiversidad en el manejo de plagas y enfermedades
- ◆ Manejo integrado de plagas para mejorar la salud del suelo
- ◆ La diferencia entre un suelo muerto y otro lleno de vida
- ◆ Manejo apropiado de malezas
- ◆ Funciones de los organismos/la vida en el suelo
- ◆ El beneficio de lo que es salud de suelo (paquete de información)
- ◆ Discutir el mejoramiento de la agricultura tradicional en comparación con la agricultura orgánica

Posibles colaboradores en la capacitación: Zamorano (Escuela Agrícola Panamericana), los centros de enseñanza y aprendizaje (CEAs), Asociación Nacional para el Fomento de Agricultura Ecológica (ANAFEA), PLANDERO.

### **Materiales didácticos:**

- ◆ Para extensionistas y para agricultores
- ◆ Ilustraciones sobre organismos benéficos por especie
- ◆ Herramientas que ayudan distinguir entre plagas, organismos benéficos y organismos sin efectos directos
- ◆ Prácticas para el campo que demuestran los conceptos teóricos

Posibles colaboradores en la producción de materiales didácticos: SIMAS, COMUNICA, CIDICCO.

**Comunicación:**

- ◆ Intercambios de experiencias y conocimientos entre los proyectos de desarrollo en mejoramiento de suelos
- ◆ Dar seguimiento, mantener contacto entre participantes
- ◆ Definición de una red o mecanismo para el intercambio de información y avances por medio de días de campo, talleres, y boletines
- ◆ Intercambiar herramientas prácticas y útiles que demuestran conceptos de salud de suelo a nivel del campo

**Capacitación:**

- ◆ Cursos para extensionistas
- ◆ Capacitación sobre prácticas sencillas de manejo de plagas manejo de suelos
- ◆ Cursos basados en la práctica 80%
- ◆ Dirigir cursos iniciales hacia productores líderes
- ◆ Incluir demostraciones sobre lo biológico, físico y químico del suelo
- ◆ Cursos diseñados para audiencias específicas, por ejemplo agricultores innovadores
- ◆ Realizar cursos más frecuentemente a nivel nacional
- ◆ Que incluye demostraciones prácticas y sencillas sobre las experiencias

Posibles colaboradores: Zamorano, Los CEAs, PASOLAC, PLANDERO y MIP-Laderas.

**Estrategias y coordinación:**

- ◆ Proponer un mecanismo de colaboración entre instituciones de investigación, organizaciones de extensión y productores para continuar el proceso
- ◆ Impulsar el tema de salud de suelo a nivel de institución o proyecto
- ◆ Promover salud de suelo por medio de organizaciones netamente agrícolas en cada departamento del país
- ◆ Proponer una estrategia de trabajo para 1998 en el seno de las instituciones colaboradoras
- ◆ Definir una agenda interregional sobre salud de suelos

Posibles organizaciones coordinadoras: MAELA, ANAFAE, PASOLAC, GRAF, COAGRES, DICTA, los CEAs, GPAAE, PCAC, Vecinos Mundiales.

**Investigación:**

- ◆ Iniciar investigación en diferentes regiones con apoyo de participantes del taller
- ◆ Hacer investigaciones más completas y confiables y brindar la información
- ◆ Que sea basada en experimentación campesina
- ◆ Que cada institución documente sus experiencias
- ◆ Sobre calidad de abonos orgánicos

Posibles colaboradores en investigación: Zamorano, FHIA, Universidad de Costa Rica, CATIE, los CEAs, PASOLAC, y La Universidad de Cornell.

## II. Desde la perspectiva de los investigadores:

“Se necesita determinar indicadores del suelo y desarrollar metodologías de investigación. Se necesita nueva experiencia con el impacto de prácticas para poder determinar nuevos principios para la agricultura sostenible, basados en un buen manejo de los organismos de suelo.”

### Temas de investigación:

- ◆ Establecer pautas para una metodología de muestreo y monitoreo en experimentos a largo plazo
- ◆ Selección y manejo de materia orgánica
- ◆ Tipo de labranza, sistema de producción, siembra y sus efectos en la salud del suelo
- ◆ Identificar la causa de efectos benéficos (“factores identificadores”)
- ◆ Evaluar los indicadores identificados en campos de agricultores
- ◆ Estudiar la sucesión de los organismos como efecto de prácticas agrícolas
- ◆ Manipulación de microorganismos específicos como micorrizas y rizobacterias
- ◆ Desarrollar prácticas básicas de identificación de microorganismos patógenos y benéficos
- ◆ Establecer una red de comunicación e involucrar científicos en toda la región

### Materiales didácticos/apoyo a extensión:

- ◆ Generar ejemplos concretos de insectos benéficos, plagas y sus papeles en la salud del suelo
- ◆ Producir indicadores útiles al nivel de campo para la evaluación de prácticas agrícolas
- ◆ Ayudar a los productores a observar los efectos de su manejo del suelo en la vida del mismo
- ◆ Basar investigación en campos de productores
- ◆ Establecer campos experimentales en zonas representativas con el fin de generar información adecuada para distintas regiones
- ◆ Desarrollar un vocabulario adecuado. No necesitamos terminos técnicos para enseñar conceptos
- ◆ Crear un juego de diapositivas específicamente para los trópicos y Centroamérica
- ◆ Generar materiales escritos como manuales para uso en el campo y en talleres

### Comentarios

Fue clara la importancia de tener material didáctico y prácticas de campo para la enseñanza apropiadas para extensionistas y agricultores. El tema de la investigación participativa surgió en varias ocasiones debido a las necesidades de los sectores de extensión y producción. La necesidad de identificar indicadores y prácticas de campo para poder evaluar y ajustar prácticas agrícolas, ofrecer recomendaciones basadas en datos y experiencias locales, mejorar producción y bajar costos de producción fueron mencionadas como prioridades.

En el área de investigación, fue prioritario identificar las necesidades de presentar casos de estudio locales, definir la relación entre los indicadores y producción, así como nuevos indicadores. La realidad de tratar tantas necesidades con recursos limitados hace hincapié en el deber de colaborar entre todos y aprovechar los esfuerzos de la gente del campo, especialmente agricultores a quienes les interesa la investigación.

## IX. Evaluación del taller

Se entregaron encuestas al inicio del taller con el propósito de documentar la necesidad que sentían los participantes en sus varias realidades profesionales con respecto al tema de salud de suelo. Posteriormente, al finalizar la semana, se solicitó a los participantes comentar sobre varios aspectos del curso desde la parte logística hasta el contenido y calidad de las presentaciones (ver el Anexo D para los resultados). Recibimos las siguientes sugerencias y retroalimentación:



### Cómo mejorar cursos futuros

#### Didáctica/enseñanza:

- ◆ Hacer énfasis con ejemplos del trópico, esto permitirá una mayor familiarización con el tema
- ◆ Distinguir los propósitos del curso: extensión o investigación
- ◆ Mayor profundización en temas específicos
- ◆ Mayor ajuste a la realidad agropecuaria
- ◆ Mejorar calidad de ayudas visuales, por ejemplo, mayor tamaño de letra, escribir correctamente todas las palabras

#### Temática:

- ◆ Faltó incluir el tema de Micorrizas; este es muy importante si queremos hablar de salud de suelos.

#### Técnicas:

- ◆ Las técnicas de laboratorio son propias de la investigación, no pueden extrapolarse hacia productores.
- ◆ Considero que para el futuro es necesario hacer una distinción para agricultores, extensionistas e investigadores. Este curso se sesgó hacia agricultor-extensionista.

#### El grupo mixto:

- ◆ Me gustó el grupo mixto porque inmediatamente tuvimos la respuesta de cada nivel. Es bueno tener diferentes puntos de vista.
- ◆ ¿Cuáles hubieran sido las ventajas y desventajas de tener tres talleres distintos, uno para investigadores, extensionistas y productores?

#### Ventajas:

- ◆ Hubiera mayor profundización en temas específicos.
- ◆ Hubiera sido posible presentar aún más sobre los estudios e investigaciones presentadas.
- ◆ Hubiera mayor aprendizaje a nivel interdisciplinario.

- ◆ Hubiera menos problemas de lenguaje.
- ◆ Se aprovecha mejor la experiencia de cada nivel.
- ◆ Con talleres específicos, el contenido se adecuaba al nivel del participante.

#### **Desventajas:**

- ◆ Se pierde mucha riqueza en lo que se refiere a experiencias en todos los niveles.
- ◆ No hubiéramos tenido el intercambio y ajuste a la realidad agropecuaria.
- ◆ La discusión no hubiera provisto la retroalimentación de los diferentes sectores.
- ◆ Hubiera costado mucho tiempo, y difícil logísticamente.
- ◆ Los investigadores no se podrían ubicar a nivel del productor.

#### **Comentarios**

El hecho que los participantes hubieran llegado al taller con distintos enfoques profesionales, pudo haber sido tanto como una barrera, como una oportunidad para el desarrollo del taller. No obstante, los propósitos de presentar la teoría y las herramientas actuales para medir la salud del suelo, identificar las necesidades a los niveles de producción, investigación y extensión, e identificar un plan de acción para el futuro, demandaron la presencia de miembros de cada sector agrícola.

Como fruto del intercambio profesional, todos los participantes fueron introducidos a herramientas y problemáticas particulares. Esperamos que la experiencia haya ayudado a aclarar los limitantes y retos de cada individuo y la interdependencia de uno a otro. Las ventajas de este intercambio se notaron en las discusiones y la identificación de necesidades desarrolladas por el grupo, que reflejaron un aprecio por las realidades de todos. El intercambio produjo un mandato claro para los extensionistas e investigadores, identificando necesidades específicas en capacitación, producción de materia didáctica e investigación participativa.

## X. Conclusión

El suelo está creado por actividades físicas, químicas y biológicas e interactúa con amplias ecologías terrestres, especialmente entre plantas, animales y la atmósfera. El movimiento de "salud de suelos" reconoce los componentes vivos y no-vivos del suelo y sus complejos intercambios, pero enfatiza el componente más olvidado por agricultores y científicos hasta la fecha — los organismos vivos y específicamente sus papeles en los procesos de producción sostenible de alimentos y fibra.

Como nos explicó el Dr. Uphoff durante la apertura del taller, una de las últimas fronteras en investigación biológica y ecológica es el suelo. Probablemente más del 90% de los esfuerzos de la investigación sobre suelos en el último siglo se ha enfocado en sus aspectos físicos y químicos. Hay una gran necesidad de re-orientar tales estudios para promover visiones más completas de nuestra realidad.

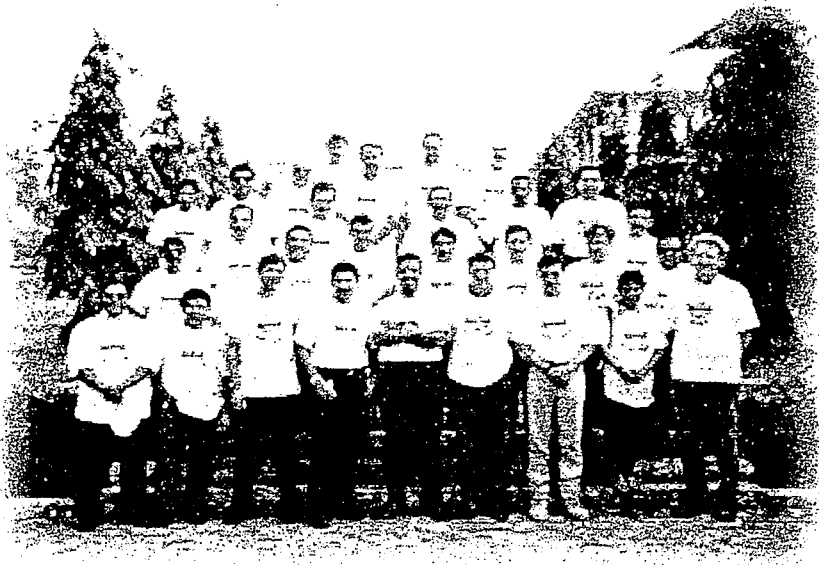
Aunque todavía desconocemos los detalles, sí sabemos que las prácticas agrícolas impactan fuertemente las poblaciones de organismos en el suelo. Prácticas como el multicultivo, la rotación de cultivos y el uso de enmiendas orgánicas tienden a favorecer la diversidad y abundancia de organismos, mientras otras prácticas, específicamente aquellas asociadas con la agricultura moderna de alta intensidad y cantidad de insumos, han causado problemas con la capacidad amortiguadora del suelo y por ende, la agricultura sostenible. Esta situación motivó a un prominente científico de suelos decir, "El arado ha causado más destrucción a civilizaciones que la espada" (Hillel, 1991).

Un solo puñado de suelo sano contiene cientos de millones de organismos individuales. Sabemos que los organismos juegan papeles críticos en el manejo de los aspectos físicos de suelo (la porosidad, aireación y drenaje e infiltración), los aspectos químicos (pH, el ciclaje y disponibilidad de nutrimentos) y los aspectos biológicos (poblaciones de patógenos y nitrificadores). Sin embargo, en el diseño de nuestros sistemas agrícolas, pocas veces hemos incluido seriamente criterios que tomen en cuenta el impacto de prácticas a largo plazo en la diversidad y abundancia de organismos del suelo. El movimiento de "salud de suelos" aspira a fortalecer este aspecto como una estrategia para el mejoramiento agrícola.

En el taller sondeamos los conocimientos existentes y habilidades prácticas de agricultores, extensionistas e investigadores. Discutimos el papel de los organismos en la productividad del suelo. Fuimos al campo para probar métodos a fin de evaluar prácticas específicas y determinar su impacto en el suelo desde la perspectiva de vida, y entramos al laboratorio para conocer mejor los organismos mismos y ver cambios en poblaciones relativas. Al finalizar la semana, discutimos sobre la necesidad para propiciar el movimiento de salud de suelos.

Identificamos amplios rubros de necesidades sobre cómo se podrían fomentar actitudes más positivas y desarrollar nuevos conocimientos y capacidades para establecer una nueva conciencia sobre la importancia de la vida del suelo. Reconocimos que había mucha información existente que necesitaba llegar al campo. Sin embargo, observamos que muchos de los estudios provienen de países no-tropicales, y no necesariamente son relevantes a la situación Centroamericana. Es necesario desarrollar nuevas herramientas de análisis práctico y conducir estudios locales, a fin de determinar cómo nuestra agricultura obstaculiza o favorece la salud de suelos.

Es cierto que nos falta mucho camino por recorrer. Esperamos que este taller haya ayudado a los participantes a adquirir nuevo aprecio y entendimiento por los organismos del suelo, las limitaciones existentes y la urgencia de tomar acción. Deseamos que esta iniciativa ayude a que agricultores, extensionistas y científicos se interesen en observar nuevamente el suelo y reflexionen sobre cómo crear condiciones más favorables para nuestro futuro.



## Anexos

- A. Itinerario del taller
- B. Participantes y direcciones
- C. Materiales entregados a los participantes
- D. Evaluaciones
- E. Referencias bibliográficas sobre salud de suelo

## Anexo A. Itinerario del Taller

### *Domingo 9 de noviembre*

p.m.  
1:00 - 5:00 pm  
6:00 pm

Llegada al Centro W.K. Kellogg en Zamorano e inscripción.  
Cena (CEDA).

### *Lunes 10 de noviembre*

a.m.  
6:30 - 7:45 am  
7:00 - 9:00 am  
8:00 a.m. -

Desayuno - (CEDA).  
Continúa inscripción de participantes (Centro Kellogg).  
(CITESGRAN)  
Introducción al Taller.  
Discusión introductoria sobre la Salud del Suelo (suelo, perspectiva del agricultor, vida del suelo). Agr Sergio Larrea, Ing. Jon Hellin, Ing. Robert Walle, Dr. Mike Zeiss.

p.m.  
12:00 mediodía  
1:30 p.m.

6:00 - 7:00 p.m.

Almuerzo - (CEDA).  
(CITESGRAN y campo)  
Estudio de caso: Medir en el campo la población de artrópodos en el suelo y su diversidad bajo distintos regímenes de manejo (muestreo, extracción y observación/caracterización). Dr. Michael Villani, Dr. Michael Zeiss.  
Cena - (CEDA).

### *Martes 11 de noviembre*

a.m.  
6:30 - 7:45 am  
8:00 a.m. -

Desayuno - (CEDA).  
(CITESGRAN)  
Presentación plenaria y discusión sobre el impacto de prácticas agrícolas en los artrópodos y el daño que pueden causar a las cosechas. Papel ecológico de los artrópodos en la salud del suelo y otros procesos del medio ambiente. Dr. Michael Villani, Dr. Michael Zeiss.  
Introducción a los microbios (benéficos y plagas) del suelo y su papel en los procesos del suelo. Dr. George Abawi, Dr. Eric Nelson, Ing. Matthew Thornton, Dra. Nicole Vienne.

p.m.  
12:00 mediodía  
1:30 p.m. -

6:00 - 6:50 p.m.  
7:00 p.m.

Almuerzo - (CEDA).  
(DPV)  
Estudio de caso: Observar y medir poblaciones de microbios del suelo y su diversidad bajo distintos regímenes de manejo en el campo. Dr. George Abawi, Dr. Eric Nelson, Ing. Matthew Thornton, Dra. Nicole Vienne.  
Cena - (CEDA)  
Noche: Actividad cultural (grupo de danzas Garífuna) (CEDA).

Taller Internacional sobre Salud de Suelos

Miércoles 12 de noviembre

a.m.

6:30 - 7:45 a.m.

8:00 a.m. -

Desayuno - (CEDA).

(CITESGRAN)

Presentación plenaria y discusión sobre el impacto de prácticas agrícolas en los microbios y el daño que pueden causar a las cosechas. Papel ecológico de los microbios en la salud del suelo y otros procesos del medio ambiente. Dr. Eric Nelson, Ing. Matthew Thornton.

p.m.

12:00 mediodía

1:30 p.m. -

Almuerzo - (CEDA).

(CITESGRAN)

Presentación plenaria y discusión sobre el impacto de prácticas agrícolas en los nemátodos y los hongos fitopatógenos del suelo y el daño que pueden causar a las cosechas. Papel ecológico de los nemátodos y los hongos en la salud del suelo y otros procesos del medio ambiente. Dr. George Abawi, Dra. Nicole Vienne. Lombrices de tierra - Presentación del papel de las lombrices en la fertilidad de suelos y su utilidad como un indicador de salud de suelos. Dr. Raul Santillán.

6:00 - 7:00 p.m.

7:00 - 8:30 p.m.

Cena - (CEDA).

Preparación para los trabajos de campo (formar grupos y planificar análisis). Ing. Steve Sherwood e Ing. Robert Walle.

*Jueves 13 de noviembre*

a.m.

6:30 - 7:45 a.m.

8:00 a.m. -

Desayuno - (CEDA).

(CITESGRAN y campo)

Gira al campo para evaluar los impactos de distintos sistemas agrícolas en la salud de suelo. (dividir en tres grupos y rotar por los mismos sitios). Ing. Steve Sherwood e Ing. Robert Walle.

p.m.

12:00 mediodía

1:30 p.m. -

Almuerzo - (CEDA).

(CITESGRAN)

Continuación del análisis del trabajo de la mañana (DPV y CITESGRAN). Ing. Stephen Sherwood e Ing. Robert Walle.

3:15 p.m. -

(CITESGRAN)

Estudio de caso: El impacto de las prácticas agrícolas en población de malezas. Dr. Abelino Pitty.

6:00 p.m.

Barbacoa y música. - (CEDA)

*Viernes 14 de noviembre*

a.m.

6:30 - 7:45 a.m.

8:00 a.m. -

Desayuno - (CEDA).

(CITESGRAN) Resumen y síntesis del impacto de las prácticas

agrícolas en los organismos del suelo y la capacidad de amortiguamiento del mismo. Dr. Michael Zeiss y todos.

Evaluación de necesidades: determinación de prioridades de investigación y extensión en el área de salud de suelos. Ing. Steve Sherwood y todos.

Taller Internacional sobre Salud de Suelos

Evaluación y ceremonia de clausura.

p.m.

1:00 - 2:00 p.m.

Almuerzo - (CEDA).

2:00 p.m.

Salida a Valle de Angeles para las personas interesadas.

6:00 p.m.

Cena para los participantes restantes. - (CEDA o posiblemente restaurante fuera del campus para quienes visitan Valle de Angeles).

***Sábado 15 de noviembre***

a.m.

6:30 - 7:30 a.m.

Desayuno. - (CEDA)

Salida de los participantes restantes.

## Anexo B. Participantes y Direcciones

### *George S. Abawi*

Universidad de Cornell  
New York State Agricultural Experiment Station  
Departamento de Fitopatología  
Barton Laboratory  
Geneva, NY 14456-0462 EE.UU.  
Tel: (315) 787-2374  
Fax: (315) 787-2389  
correo electronico: gsa1@cornell.edu

### *Tomás Barahona*

Productor Individual  
Lavaderos - Güinope  
El Paraíso, Honduras

### *Samuel Carranza*

Proyecto NRI  
Estación Experimental  
Santa Rosa, Choluteca

### *Julio César Chinchilla Sorto*

Proyecto PLANDERO  
Santa Rosa de Copán, Honduras  
tel/fax 620059

### *Josefa Cisneros*

Capacitadora  
Apartado 6024  
Managua, Nicaragua  
tel: (505)2783073 - 2783074 - 2786498  
fax: (505)2770393  
correoelectronico: pasolac@ns.tmx.com.ni

### *Nelson Fabricio Gamero*

Proyecto UNIR - Zamorano  
Apartado 93  
Tegucigalpa, Honduras  
Tel: 766140/50 ext 2044  
correo electrónico : nelgamero@zamorano.edu.hn

### *Manuel Antonio Jaco*

Departamento de Protección Vegetal  
Escuela Agrícola Panamericana  
Tel 766140 ext. 2354

### *Alvaro Jerónimo*

Area Capacitacion a Técnicos y Productores  
PASOLAC en el Salvador  
IICA  
Apartado Postal 01-78  
San Salvador  
tel: (503)2605146 - 2605168 -  
fax: (503)260-5170  
correo electronico : pasolac@es.com.sv

### *Cynthia D. Lagos*

Proyecto Agricultura Orgánica  
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola  
(FHIA)  
Apartado Postal 2067  
San Pedro Sula, Honduras  
Tel: (504) 68-2078, 68-2470 ext. 1118  
Fax: (504) 68-2313  
correo electronico: fhia@simon.intertel.hn

### *Carlos Lara*

IANA - PLANDERO  
Apartado #221  
Santa Rosa de Copán, Honduras  
Tel/fax: 620059

### *Jose Salomón Mejía*

Apartado 221  
Santa Rosa de Copán, Honduras.

### *Werner Melara*

Departamento de Protección Vegetal  
Apartado 93  
Tegucigalpa, Honduras  
tel: (504) 766140/50 ext.2312

### *Eric B. Nelson*

Universidad de Cornell  
306 Plant Science Building  
Ithaca, New York 14853 EE.UU.  
Tel: (607) 255-7841  
Fax: (607) 255-4471  
correo electronico: ebn1@cornell.edu

### *Carlos Abel Ortíz C.*

San Isidro Choluteca,  
Apartado Postal 20545  
Comayagüela  
Tel: (Tegucigalpa) 251902.

### *Felipe Piliarte Pavón*

Responsable de Seguimiento y evaluación  
Proyecto MIP/Zamorano/Cosude-Nicaragua  
Apartado Postal 0014  
Costado Este Escuela Anexa  
Estelí - Nicaragua  
Tel : (505)71-32562  
Fax : (505)71-33100  
correo electrónico: dpv@eapepd.sdnhon.org.hn

### *José A. Ramos*

Asociación para el Desarrollo de Honduras (ADROH)  
Apartado 22  
Frente a la Gobernación Política, La Esperanza,  
Intibucá Honduras  
Tel (La Esperanza) 98-2285  
fax: 98003  
Tel (Tegucigalpa) 321318  
Fax: 31-1979

210611

Taller Internacional sobre Salud de Suelos

*Gerardo Ramos*

Extensionista Agrícola  
Proyecto Desarrollo Agrícola Valle del Guayape  
Juticalpa, Olancho  
Tel 852873 / 852874

*Nolvia Ramos*

Departamento de Protección Vegetal  
Apartado 93  
Tegucigalpa - Honduras  
tel: (504) 76-6140/50 ext.2312  
correo electrónico: nolvia@eapdpv.sdnhon.org

*Galileo Rivas*

Investigador  
Area de Agricultura Tropical Sostenible  
CATIE 7170  
Turrialba - Costa Rica C.A.  
tel: (506)556-0232  
fax: (506) 556-6480  
correo electrónico: grivas@computo.catie.ac.cr

*Geovanny Rivera Forero*

Extensionista  
Proyecto Desarrollo Agrícola Valle del Guayape,  
Zona de trabajo: San Francisco de Becerra,  
Olancho

*Martha Rosemeyer*

Casilla Postal #2663 San José de Costa Rica  
Tel/fax (Costa Rica) (506)773-3278  
P. O. Box 025216  
Miami -Florida 33102-5216  
Tel/fax en Miami (506)253-9447  
correo electrónico: mrosemey@cariari.ucr.ac.cr

*René Santos A.*

Director  
Centro de Enseñanza y Aprendizaje  
de Agricultura Sostenible El Socorro  
Apartado Postal 115  
El Socorro - Siguatepeque  
Honduras

*Erick Bladimir Serrano*

Tambla - Lempira  
Honduras

*Stephen G. Sherwood*

Coordinador (CIIFAD)  
Escuela Agrícola Panamericana  
A. P. 93  
Tegucigalpa, D.C. 11207 Honduras  
Telefax (504) 76-6137  
correo electrónico: sgs1@cornell.edu

*Franck Tondeur*

INTA  
Apartado Aéreo 0014  
Estelí - Nicaragua  
Tel/fax (505)71-36002

*Matthew Thornton*

B-22 Mann  
Universidad de Cornell  
Ithaca, New York 14853-7801 EE.UU.  
Correo electrónico: mat22@cornell.edu

*Norman T. Uphoff*

Director CIIFAD  
Universidad de Cornell  
PO Box 14 Kennedy Hall  
Ithaca, New York 14853 EE.UU.  
Tel: (607) 255-0831  
Fax: (607) 255-1005  
correo electrónico: ntu1@cornell.edu

*Michael G. Villani*

Universidad de Cornell  
New York State Agricultural Experiment Station  
Departamento de Entomología  
Barton Laboratory  
Tel: (315) 787-2342  
Fax: (315) 787-2326  
correo electrónico: mgv1@cornell.edu

*Nicole Viaene*

Programa de Banano y Plátano  
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola  
(FHIA)  
Apartado Postal 2067  
San Pedro Sula, Honduras  
Tel: (504) 68-2078, 68-2470 ext. 1118  
Fax: (504) 68-2313  
correo electrónico: fhia@simon.intertel.hn

*Roberto Walle*

Universidad de Florida EE.UU.  
e Instituto Silsoe, U.K.  
División Internacional de Entrenamiento, McCarty  
Hall University of Florida, Gainesville, Florida 32611  
correo electrónico: afn29600@afn.org  
y rjw@gnv.ifas.ufl.edu

*Michael R. Zeiss*

Escuela Agrícola Panamericana  
Departamento de Protección Vegetal  
Apartado Postal 93  
Tegucigalpa, Honduras  
Tel. (504) 76-6140/50 ext.2361  
Fax: (504) 76-6242  
correo electrónico: zeiss@eapdpv.sdnhon.org.hn

## Anexo C. Materiales entregados a los participantes

### 1. Métodos de campo:

- a. Tamizar para contar la diversidad y abundancia de macro-artrópodos y lombrices de tierra (Fuente: Michael Zeiss)
- b. Velocidad de infiltración de agua (Fuente: Polly Ericksen)
- c. Velocidad de infiltración de agua (Fuente: Mathew Thornton)
- d. Velocidad de infiltración de agua (Fuente: Mathew Thornton)
- e. La estructura del suelo y el perfil de las raíces (Fuente: Polly Ericksen)
- f. Evaluando la tasa de respiración del suelo (Fuente: Polly Ericksen)
- g. Evaluación de la diversidad de hongos y de bacteria (Fuente: George Abawi y Steve Sherwood)
- h. Extracción de nemátodos y micro-artrópodos (Fuente: Hernando Domínguez)
- i. Banco de semillas de malezas del suelo (Fuente: Roni Muñoz)
- j. Bioensayos de suelos: Potencial de daño de patógenos de raíces (Fuente: George Abawi)
- k. Solarización de suelo (Fuente: Hernando Domínguez)
- l. Información sobre solarización del suelo

2. Zeiss, M. 1997. Principales artrópodos del suelo. Departamento de Protección Vegetal, Zamorano. 12 páginas.

3. Conteo de artrópodos.

4. Nelson, Eric B. October, 1997. La microbiología de suelos. Universidad de Cornell. 7 páginas.

5. Kolmans, Enrique y Vásquez, D. 1996. El suelo: Un organismo vivo. En: Manual de Agricultura Ecológica. MAELA-SIMAS-CICUTEC. Managua, Nicaragua. pp. 19-34.

6. Kolmans, Enrique y Vásquez, D. 1996. Interacciones entre suelo y planta. En: Manual de Agricultura Ecológica. MAELA-SIMAS-CICUTEC. Managua, Nicaragua. pp. 53-62.

7. Abawi, G. and H.D. Thurston. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales: una revisión. En Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CIIFAD-CATIE. pp. 97-108.

8. El uso de cubiertas vegetales (mulch) y las lombrices de tierra. Tomado de: The Basic Book of Gardening. Rodale Press. Recopilado por José Elías Sánchez, Loma Linda Honduras. 2 páginas.

9. Godoy, G., J. Vega y A. Pitty. 1995. El tipo de labranza afecta la flora y la distribución vertical del banco de semillas de malezas. CEIBA, Volumen 36 (2): 217-229.

10. Godoy, G., 1994. Efecto de dos sistemas de labranza en la incidencia de plagas, factores agronómicos y económicos del maíz y frijoles en relevo. Tesis Ingeniero Agrónomo. DPV. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras p. 97.11. Dejud, I.F. 1992. Labranza convencional y cero: evaluación agronómica y económica de plagas y factores de

- mortalidad del maíz y frijol en relevo. Tesis Ingeniero Agrónomo. DPV. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras.
12. Zelaya, I. y A. Pitty. 1995. La Labranza del suelo reduce las poblaciones de lombrices: estudio comparativo de seis años. *La Ceiba*. 36(20): 207-215.
13. Domínguez, H. 1996. El muestreo de nemátodos. Departamento de Protección Vegetal, Zamorano. 11 páginas.
14. D.P.V. Extracción de nemátodos del suelo. Zamorano.



## Anexo D. Evaluación del taller

### A. EL EVENTO TOTAL

¿Cubrió el evento sus expectativas?

Todas	1	6%
Alto	11	65%
Medio	3	24%
Bajo	0	0%
Ninguno	0	0%

En caso de que este curso se repitiera de nuevo, ¿le sugeriría a sus colegas recibirlo?

SI	17	100%
NO	0	0%

### B. CONTENIDO/TEMAS INCLUIDOS

Aumento de conocimiento o habilidades

Alto	9	53%
Medio	7	41%
Bajo	1	6%
Nada	0	0%

¿Para su trabajo, considera que usará los conocimientos?

Muy frecuentemente	3	18%
Con frecuencia	10	58%
A veces	3	18%
Poco	1	6%
Muy poco	0	0%
Nada	0	0%

Grado de dificultad

Muy difícil	0	0%
Difícil	1	6%
Moderado	10	59%
Fácil	5	29%
Muy fácil	1	6%

Distribución de tiempo

Excelente	1	6%
Muy bueno	7	41%
Bueno	8	47%
Regular	0	0%
Malo	0	0%

### C. CALIDAD DE LA PRESENTACION

#### Presentaciones del expositor

Excelente	2	12%
Muy bueno	9	53%
Bueno	5	29%
Regular	1	6%
Malo	0	0%

#### ¿Fueron claras las explicaciones?

Excelente	1	6%
Muy bueno	12	70%
Bueno	4	24%
Regular	0	0%
Malo	0	0%

#### ¿Qué tan participativas fueron las presentaciones?

Excelente	2	12%
Muy bueno	9	53%
Bueno	4	23%
Regular	1	6%
Malo	1	6%

#### Calidad del material escrito

Excelente	5	29%
Muy bueno	10	59%
Bueno	1	12%
Regular	0	0%
Malo	0	0%

## Anexo E. Referencias bibliográfica

- Abawi, G. and H.D. Thurston. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales: una revisión en Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CIIFAD-CATIE, pp. 97-108.
- Dick, Richard P. (1992) A review: long term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40: 25-36.
- Dejud, I.F. 1992. Labranza convencional y cero: evaluación agronómica y económica de plagas y factores de mortalidad del maíz y frijol en relevo. Tesis Ingeniero Agrónomo. DPV. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras.
- Doran, J.W. and Jones, A. (eds.) 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication No. 49 Soil Science Society of America, Madison WI.
  - Doran, J.W. Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. Stewart B.A. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publications no. 35, Soil Science Society of America, Madison, WI pp 3-21.
- Doran, J.W. and M.R. Werner. 1990. Management and soil biology. P. 207-211. In C.A. Francis et al. (eds.) *Sustainable Agriculture in Temperate Zones*. John Wiley and Sons. New York.
- Doran, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Journal of the Soil Science Society of America*. 44, 765-771.
- Drinkwater, L.E. D.K. Letourneau. F. Workneh. A. van Bruggen. and C. Shennan. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications*, 5(4), pp. 1098-1112
- FAO. 1995. Taller de solarización del suelo. Escuela Agrícola Panamericana. Memoria, 18-21 de septiembre.
- Godoy, Gl J. Vega y A. Pitty. 1995. El tipo de labranza afecta la flora y la distribución vertical del banco de semillas de malezas. CEIBA, Volumen 36 (2): 217-229.
- Godoy, G., 1994. Efecto de dos sistemas de labranza en la incidencia de plagas, factores agronómicos y económicos del maíz y frijoles en relevo. Tesis Ingeniero Agrónomo. DPV. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras p. 97.
- Jordan, D. R.J. Kremer, W.A. Bergfield, K.Y. Kim, and V.N. Cacnio. 1995. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biology and Fertility of Soil* 19: 297-302.
- Lal, R. 1991. Soil conservation and biodiversity. In D.L. Hawksworth [ed]: *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB International, Wallingford. pp. 89-103.
- Larrea, Sergio Iván. 1997. Experiencias y lecciones de agricultores innovadores sobre el desarrollo rural: caso de Guinope, Honduras. Tesis Ingeniero Agrónomo. DDR. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras.
- Lavelle, P. M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. Lopez-Hernandez, B. Pashanasi and L. Brussaard. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: Woomer et. al [eds.], *Biological Management of Tropical Soil Fertility*. Wiley-Sayce; Ch. 6.
- Kennedy, A.C. and K.L. Smith. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*. 170: 75-86.
- Kirchner, M.J. A.G. Wollum II, and L.D. King. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 1289-1295.
- Kolmans, Enrique y Vasquez, D. 1996. *Manual de Agricultura Ecológica*. MAELA-SIMAS-CICUTEC. Managua, Nicaragua.
- Parkinson, D. 1994. Filamentous fungi. In: *Methods of Soil Analysis, part 2. Microbial and Biochemical Properties*. SSSA Book Series, no. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 329-350.
- Pitty, Abelino y R. Muñoz. 1993. *Guía Práctica para el Manejo de Malezas*. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras.
- SIMAS. 1993. *Tierra Fresca: IV Encuentro Mesoamericano de Agricultores Orgánicos*. SIMAS. Managua, Nicaragua.

Taller Internacional sobre Salud de Suelos

- Thurston, H. David. 1992. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems. Westview Press, Inc. Boulder, CO.
- Zuberer, D.A. 1994. Recovery and enumeration of viable bacteria. In: Methods of Soil Analysis, part 2. Microbial and Biochemical Properties. SSSA Book Series, no. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI.

# Efecto de las Coberturas y Enmiendas Orgánicas al Suelo y de los Cultivos de Cobertura sobre los Patógenos del Suelo y las Enfermedades Radicales: una Revisión.

George S. Abawi y H. David Thurston<sup>1</sup>

## Introducción

La nomenclatura de materiales orgánicos disponibles como mantillos (cobertura muerta), enmiendas al suelo y cultivos de cobertura se usan aquí según las definiciones dadas por Palti (Palti, 1981). Los materiales orgánicos, como rastrojos o malezas cortadas, que se dejan o distribuyen sobre la superficie del suelo se consideran como mantillo o cobertura muerta. Pero los materiales orgánicos que se incorporan al suelo se consideran como enmiendas, mientras cultivos de cobertura se refiere a aquellas especies de cultivos que se siembran para ser usados como abono verde. Los sistemas de producción de corte y cobertura<sup>2</sup> practicados por los agricultores tradicionales son variados, pero todos producen y mantienen cantidades considerables de materia orgánica sobre el suelo (Patiño, 1965; Thurston, 1992b). Así, las cantidades voluminosas de materia orgánica provistas por los diferentes sistemas de corte y cobertura, crean una gruesa capa sobre el suelo, que se descompone a tasas obviamente diferentes. Muchas otras formas de materia orgánica, como residuos de cultivos frescos o en compost, lodo de los ríos, desechos humanos o animales, "barba de viejo", plantas acuáticas y varias otras, han sido usadas por los agricultores tradicionales, especialmente en China y México. Los efectos beneficiosos de la materia orgánica al mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, reducir la erosión, aumentar la capacidad de retención de agua y mejorar la estructura y otras propiedades del suelo, son bien conocidas (Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). También ha sido demostrado que las coberturas y otras formas de materia orgánica contribuyen al establecimiento de condiciones del suelo que son ideales para el crecimiento radical y así resultan, generalmente, en un mayor vigor y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, durante la descomposición de ciertos materiales orgánicos pueden producirse metabolitos fitotóxicos que pueden, directa o indirectamente, ejercer un efecto adverso sobre el crecimiento de las plantas (Linderman y Gilbert, 1975; Patrick *et al*, 1964).

---

<sup>1</sup>Departments of Plant Pathology, Cornell University, Geneva and Ithaca, NY

<sup>2</sup>También denominados de corta y pudre o tapado; "slash/mulch" en el original en inglés. (N. de la T.)

Las enfermedades radicales producidas por hongos y nematodos patogénicos son comunes en muchas especies cultivadas en América Latina, tales como las leguminosas comestibles (Abawi y Pastor-Corrales, 1990; Allen, 1983; Wellman, 1972). Por ejemplo, hay seis pudriciones de la raíz consideradas como de importancia primordial en el frijol común (Phaseolus vulgaris), sembrado en las áreas de producción principales de América Latina. Estas son amarillamiento por Fusarium (causado por Fusarium oxysporum f.sp. phaseoli), pudrición de la raíz por Fusarium (causado por F. solani f. sp. phaseoli), pudrición carbón (causada por Macrophomina phaseolina), pudrición de la raíz por Rhizoctonia (causada por Rhizoctonia solani), quema (causada por Sclerotium rolfsii) y nematodos de agallas (Meloidogyne spp, especialmente M. incognita y M. javanica) (Abawi y Pastor-Corrales, 1990; Mullin et al, 1991).

Una o varias de estas enfermedades pueden predominar en un sistema de cultivo y/o área específica. Las pudriciones de la raíz son más severas en condiciones de suelos pobres, con características tales como bajo nivel de materia orgánica, estructura deficiente, alta compactación con drenaje inadecuado y otras. Además se sabe que las enfermedades de la raíz se generalizan cuando se utilizan cultivos susceptibles en una secuencia, o asociados de tal forma, que se favorezca la acumulación de altas densidades de población de patógenos del suelo. Las raíces de las plantas infectadas severamente con patógenos del suelo son menos eficientes en la absorción de agua y nutrientes, especialmente si las plantas están en condiciones de estrés físico o biológico.

<sup>15/10/12</sup> El uso de variedades de cultivos resistentes es la estrategia más efectiva, económica y práctica para el combate de las enfermedades del suelo, especialmente en el caso de pequeños agricultores con un bajo uso de insumos. Sin embargo, esta estrategia requiere el desarrollo de cultivares adaptados con resistencia a todos los patógenos del suelo más importantes de una zona ecológica y productiva dada. Hasta que tales cultivares se hagan disponibles, el control efectivo de enfermedades radicales sólo es posible a través de una combinación de medidas de control compatibles y apropiadas (control integrado). Por ejemplo, la falta (o bajo nivel) de resistencia a uno o más de los patógenos causantes de las principales enfermedades radicales en un área productiva, puede manejarse implementando una medida de control que sea cultural (mantillos y composts orgánicos, selección de una secuencia de cultivos apropiada, asociación de cultivos, siembra en lomillos, ajustes en la época de siembra, densidad de siembra, selección de herbicidas y fertilizantes, etc.), biológica (adición o incremento de los microorganismos beneficiosos del suelo), química (uso juicioso donde sea necesario, como en el tratamiento de semillas y otros materiales de siembra) o cualquier combinación de estas medidas.

El papel directo e indirecto de los residuos de cultivo y otras fuentes de materia orgánica sobre la sanidad de los cultivos y el rendimiento se conoce y ha sido documentado desde hace muchas décadas (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b; Thurston, 1984). Hoy, se cree que la mayor influencia de la materia orgánica sobre los patógenos radicales es a través de la modificación de las actividades microbianas del suelo, especialmente a través del estímulo de microorganismos antagónicos (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978). El siguiente es un breve resumen acerca del

efecto de los materiales orgánicos sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Sin embargo, sólo se presentan unos pocos ejemplos selectos y sólo se incluye un pequeño número de las numerosas referencias disponibles.

## La Materia Orgánica y la Incidencia y Severidad de las Enfermedades Radicales.

La mayor parte de la información disponible en la literatura indica que el mantenimiento de un alto nivel de materia orgánica en y sobre el suelo se asocia generalmente con una menor incidencia y severidad de enfermedades en la raíz (Cook y Baker, 1983; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). Escritores antiguos de China, Grecia, Roma, Arabia y España documentaron la importancia y el uso de materiales orgánicos en compost y varios tipos de abonos orgánicos para el mejoramiento de la producción de los cultivos y para el manejo de las enfermedades de las plantas (Thurston, 1992a).

Los productores tradicionales de China adicionan anualmente a sus tierras, grandes cantidades de materiales orgánicos y compost casero como fertilizante. Al considerar la naturaleza intensiva de los sistemas productivos usados en China, como los de hortalizas, uno esperaría encontrar un número considerable de enfermedades en las raíces que impacten la producción. Sin embargo, varios autores (Cook y Baker, 1983; Thurston, 1992a) y consultores, incluyendo el autor principal, han reportado la limitada ocurrencia e impacto de enfermedades radicales producidas por hongos y nematodos patógenos del suelo. Parece ser que la adición extensiva de abonos y compost, combinada con las inundaciones, son los factores principales en el mejoramiento de la sanidad de las raíces, al suprimir o eliminar las fuentes de inóculo de los patógenos del suelo así como al mejorar la estructura del suelo.

El sistema de producción en chinampas de Xochimilco, México, que data de la era azteca, también recibe anualmente grandes cantidades de lodo rico en nutrientes del fondo de los canales, las plantas acuáticas, los residuos de cultivo, las malezas, los desechos animales y otros materiales orgánicos que a menudo se hacen compost. No hay reportes disponibles que sugieran que las enfermedades radicales sean importantes en las chinampas. Recientemente se encontró (Lumsden *et al.*, 1987; Zuckerman *et al.*, 1989) que estos suelos contienen bajas densidades de población de hongos y nematodos patógenos. Varios agentes de control biológico recuperados de estos suelos suprimieron la población y el daño de *Pythium* spp. y el nematodo *Meloidogyne* spp. a cultivos hortícolas bajo condiciones experimentales.

En las tierras bajas y húmedas de los trópicos, la telaraña es la enfermedad más destructiva del frijol bajo condiciones de siembra en terreno limpio. Esta enfermedad es causada por el patógeno del suelo *Rhizoctonia solani* y su forma perfecta *Thanatephorus cucumeris*. La fuente principal de inóculo del patógeno, en condiciones de alta temperatura y humedad, son fragmentos de micelios y esclerocios libres en el suelo o como colonias en los

detritos. La inoculación del frijol ocurre, mayormente, por el salpique de gotas de lluvia con partículas de suelo infestado. Se encontró que esta enfermedad es de menor importancia en las parcelas de agricultores bajo el sistema tradicional de producción de "frijol tapado" (Galindo et al, 1982; Galindo et al, 1983). También se ha controlado eficientemente la enfermedad con coberturas de granza de arroz. Ambas prácticas fueron igualmente efectivas y superiores al tratamiento con fungicidas.

En muchas regiones del mundo, se usan ampliamente una gran variedad de terrazas, especialmente entre agricultores tradicionales con sistemas de producción agrícola en laderas (Thurston, 1992a; Treacy, 1989). En la construcción y preparación anual de las terrazas, se usaron grandes cantidades de materia orgánica, en la forma de malezas, residuos de cultivos, boñiga y otros. Esta, sin duda, contribuyó en la supresión de patógenos del suelo y en la sostenibilidad de estos sistemas a través de los siglos.

Las enfermedades radicales son generalmente raras en los ecosistemas no perturbados o naturales, mientras en los sistemas de producción convencionales los patógenos del suelo y las enfermedades radicales que causan son severas y, a menudo, un factor limitante de la producción (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978). Se ha sugerido que el aumento en las enfermedades radicales en los sistemas de siembra convencionales puede deberse a las prácticas de labranza utilizadas y a la destrucción de la materia orgánica. Varios autores han revisado literatura y listado los numerosos ejemplos disponibles en que el manejo de los residuos de los cultivos o la adición de diferentes tipos de enmiendas orgánicas (ya sea fresca, seca o en compost) incrementaron o disminuyeron las poblaciones de los patógenos y sus enfermedades (Allarmas et al, 1988; Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Palti, 1981; Patrick et al, 1964; Rowe-Dutton, 1957; Schippers et al, 1987; Sumner et al, 1981). La supresión exitosa de nematodos fitoparásitos, incluyendo el destructivo nematodo de las agallas (Meloidogyne spp.), ha sido reportada con el uso de cultivos de cobertura, cultivos trampa, secuencias de cultivos y adición de materia orgánica como enmienda (Muller y Gooch, 1982; Nusbaum y Ferris, 1973; Rodríguez-Kabana et al, 1987; Rodríguez-Kabana, 1992). Por ejemplo, recientemente se mostró que la siembra de colza (Brassica napus) cv. Jupiter por dos meses y su posterior incorporación como abono verde resultó en una reducción significativa de la población de Meloidogyne chitwoodi (Mojtahedi et al, 1991) y fue mejor que las enmiendas con brotes de maíz o trigo y que el tratamiento en barbecho. Una reducción en la población de M. chitwoodi y M. hapla ha sido correlacionada con un incremento del rendimiento de papa en la región noroeste de los Estados Unidos. Se encontró que la siembra de mucuna (Mucuna deeringiana) en rotación redujo la población de M. arenaria e incrementó el rendimiento de maní más eficientemente que el nematicida Aldicarb, en un sistema de producción de maní en monocultivo (Rodríguez-Kabana, 1992).

La incorporación de avena, cebada y maíz secos y las enmiendas con avena y maíz verdes, han demostrado reducir las pudriciones de la raíz de frijol causadas por Fusarium, Rhizoctonia y Thielaviopsis (Cook y Baker, 1983; Lewis y Papavizas, 1975). La incorporación de un cultivo de cobertura de cebada, centeno, trigo o avena antes de la siembra de frijol en Nueva York, contribuyó

a reducir la severidad de pudrición de la raíz y aumentó el rendimiento de frijol, siempre y cuando se dejara suficiente tiempo para la descomposición de los residuos de cultivo y así evitar daños por babosas y gusano de la semilla del maíz (Abawi, 1992). Se redujo el daño provocado por Phytophthora cinnamoni en aguacate con el uso de varias coberturas orgánicas (Thurston, 1992a). Las pudriciones radicales en cultivos ornamentales producidas por especies de Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia y Thielaviopsis se redujeron mediante el uso de compost preparado de cortezas de árbol y usado como mantillo o sustrato de siembra (Hoitink y Fahy, 1986). La enfermedad producida por Sclerotinia homeocarpa en césped ("creeping bentgrass" y "bluegrass" anual) fue reducida en gran medida con la aplicación de abono enmendado con fertilizantes orgánicos comerciales compuestos por tortas de residuos animales y vegetales (Nelson y Craft, 1992). Esta enfermedad también fue suprimida por un compost de residuos de gallinero y un compost de 2,5 años de cieno de Endicott, Nueva York.

En contraste con los citados efectos beneficiosos de la materia orgánica en la reducción de las enfermedades radicales, existen varios ejemplos en la literatura que documentan los efectos directos o indirectos del manejo de ciertas coberturas y materia orgánica sobre el incremento en la severidad de las enfermedades radicales (Cook y Baker, 1983; Palti, 1981; Sumner et al, 1981; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). Se ha atribuido al manejo específico de la materia orgánica del suelo, el aumento en la severidad de enfermedades radicales producidas por Pythium spp., Rhizoctonia solani y Sclerotium rolfsii. Todos estos hongos son patógenos no especializados, con un amplio rango de hospederos, tienen buena capacidad saprofítica bajo ciertas condiciones y generalmente se ven favorecidos por la presencia de alta humedad. Un mantillo de paja en árboles de manzano causó un aumento significativo en las pudriciones por Phytophthora (35 % de infección) causadas por P. cactorum, P. megasperma y P. cambivora (Merwin et al, 1992). Los manzanos en cobertura viva de césped y "crown vetch" (Coronilla varia) se mantuvieron libres de estas enfermedades mientras los manzanos en los otros cinco sistemas de manejo de la vegetación de cobertura tuvieron una incidencia de la infección de hasta 6 %. Tres enfermedades de pudrición de la raíz en trigo se incrementaron cuando el trigo se sembró en suelo con una cobertura de paja de trigo del cultivo anterior (Cook y Haglund, 1991). Estas enfermedades fueron causadas por Gaeumannomyces graminis var. tritici, Rhizoctonia solani y Pythium spp. La pudrición radical del frijol causada por Rhizoctonia solani se incrementó en parcelas de labranza mínima en las cuales se mantuvo una cantidad considerable de residuos del cultivo anterior sobre y cerca de la superficie del suelo (Abawi, 1992b). Además, los tejidos radicales de los cultivos pueden predisponerse a la infección por patógenos del suelo debido a los metabolitos fitotóxicos (volátiles o no volátiles) que se producen durante la descomposición de la materia orgánica (Cook et al, 1978; Linderman y Gilbert, 1975; Patrick et al, 1964). El uso de ciertas coberturas y enmiendas orgánicas también han sido reportado como fuente de virus y causante de un aumento en la sobrevivencia de bacterias y hongos patógenos del follaje y de un incremento en el daño producido por babosas, gusanos como Hylemyia cilicrura (Rond) en maíz y otros insectos (Abawi, 1992; Andrews, 1987; Beaver et al, 1984; Cook et al, 1978).

# Mecanismos de Inhibición de los Patógenos del Suelo por la Materia Orgánica.

Tal como se presentó en párrafos anteriores, hay una larga historia y numerosos ejemplos que documentan el uso de coberturas y enmiendas orgánicas (incluyendo compost) en el control de enfermedades radicales y de otras enfermedades y plagas de los cultivos (Allarmas *et al*, 1988; Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Palti, 1981; Rowe-Dutton, 1957; Schippers *et al*, 1987; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). El manejo apropiado de las coberturas y enmiendas del suelo pueden y han resultado en medidas de combate eficientes y ecológicamente compatibles para las enfermedades de las plantas y en especial para las causadas por patógenos del suelo. Se han destinado considerables esfuerzos en la investigación tendiente a dilucidar cuáles son los mecanismos mediante los cuales las enmiendas y coberturas orgánicas suprimen a los patógenos del suelo y sus enfermedades radicales (Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Linderman y Gilbert, 1975; Patrick *et al*, 1964). Sin embargo, sólo están disponibles un número limitado de casos en que se conoce el(los) mecanismo(s) específico(s) en que ciertas coberturas o enmiendas orgánicas suprimen a los patógenos del suelo. Esto se debe a las diferencias en la composición química, estado de madurez y tasa de descomposición de las coberturas y enmiendas orgánicas, así como a la complejidad y diferencias en los parámetros del suelo (biológicos, químicos y físicos) y al ambiente. Obviamente, hay varios tipos y niveles de interacciones potenciales, en especial interacciones microbiales del suelo, resultantes del uso de coberturas y otras enmiendas orgánicas. Por lo tanto, es difícil verificar cuál(es) mecanismo(s) está(n) involucrado(s) en la supresión de los patógenos del suelo o cuán predecible es la efectividad de las coberturas y enmiendas orgánicas sobre los patógenos del suelo y las enfermedades que causan en ambientes diferentes.

Cook *et al* (1978), al revisar la literatura, indicaron que los residuos de cultivos que se dejan en el campo afectan las enfermedades de las plantas en, al menos, las siguientes categorías:

1. Para muchos patógenos, los residuos proveen alimento y un lugar para vivir y reproducirse.
2. Los residuos afectan el ambiente físico ocupado por el hospedero y el patógeno.
3. Como enmiendas orgánicas del suelo, los residuos intensifican la actividad microbiana del suelo y esto, junto con una serie de productos de la descomposición (algunos fitotóxicos y otros fungitóxicos), pueden afectar a los patógenos, la susceptibilidad del hospedero o ambos.

Las categorías anteriores también son aplicables a las coberturas y a otras fuentes de enmiendas orgánicas. Otra influencia potencial de las coberturas y residuos de cultivo que se dejan sobre la superficie del suelo es la de actuar como una barrera física que prevenga el salpique de suelo infestado a los tejidos de las plantas, y así pueda prevenir o reducir el inóculo primario de ciertos patógenos del suelo (Galindo *et al*, 1982; Galindo *et al*, 1983). La siguiente es una breve discusión sobre algunos de los mecanismos reportados,

por los cuales las coberturas y las enmiendas orgánicas al suelo inhiben a los patógenos del suelo y a las enfermedades radicales:

#### **Fenómeno de Germinación y Lisis de los Propágulos de Fitopatógenos.**

Muchos estudios han mostrado que las coberturas y enmiendas orgánicas estimulan la germinación de los propágulos (tales como conidios, esclerocios, clamidósporas y otros) de hongos patógenos del suelo, a través de la liberación de nutrientes, metabolitos volátiles y otros compuestos (Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978; Lewis y Papavizas, 1975). Los tubos germinativos de los propágulos en germinación son entonces afectados por lisis antes de que sean capaces de infestar al hospedero, colonizar substratos apropiados o producir esporas secundarias u otras estructuras. Así, el proceso de germinación y lisis resulta en la reducción de la densidad del inóculo de patógenos del suelo y, subsecuentemente, una menor incidencia de enfermedades de las raíces. La lisis de los tubos germinativos puede ser causada por varios tipos de antagonismos y competencias debidos a las actividades microbiales estimuladas por las enmiendas orgánicas. Por ejemplo, varios residuos de cultivos causaron la germinación y lisis de los esclerocios de Phymatotrichum omnivorum resultando en el control de la pudrición de raíz por Phymatotrichum en algodón, mientras la adición de paja de avena, residuos de maíz o heno de alfalfa causaron una reducción del 90 % en la población de Thielaviopsis basicola y control de la pudrición negra de la raíz del frijol (Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978; Lewis y Papavizas, 1975).

**Competencia por nutrientes.** La adición de enmiendas al suelo, en especial aquéllas que contienen una elevada relación C:N, ha demostrado resultar en una competencia extrema por varios nutrientes, como nitrógeno, hierro y otros. Los organismos microbianos estimulados son mejores competidores en el suelo y así inmovilizan a estos nutrientes en sus células y matan a los patógenos por inanición o imponen una condición fungistática en el suelo. Por ejemplo, tejidos de maíz maduros y en descomposición redujeron la severidad de la pudrición radical por Rhizoctonia en frijol al inhibir el crecimiento de R. solani (Lewis y Papavizas, 1975). Otro ejemplo es la disminución de la pudrición radical por Fusarium en frijol mediante la incorporación de residuos de paja de cebada al suelo y la reversión de este efecto al agregar nitrógeno inorgánico a los residuos (Cook *et al*, 1978).

#### **Producción de Compuestos Tóxicos Volátiles o no Volátiles.**

Numerosos estudios han tratado el efecto biológico y químico de los productos de la descomposición de las coberturas y enmiendas orgánicas sobre los microorganismos del suelo y los cultivos (Linderman y Gilbert, 1975; Patrick *et al*, 1964). El uso de enmiendas con crucíferas (repollo, col rizada, nabo, mostaza, etc.) redujo la pudrición radical por Aphanomyces en arvejas a través de la producción de compuestos volátiles azufrados (como sulfuro de dimetil y otros) que resultaron tóxicos para A. euteiches. El amoníaco y el etileno producidos durante la descomposición de enmiendas orgánicas, son tóxicos para muchos hongos y nematodos patógenos del suelo. Se ha reportado que el amoníaco previno la germinación de zoosporas y mató el micelio de Phytophthora cinnamomi en condiciones *in vitro* (Lewis y Papavizas, 1975). Las maravillas (Tagetes spp.) producen tertienilo y otros politienilos que, se sabe, inhiben nematodos fitoparásitos como los productores de agallas y lesiones. Además materiales orgánicos tales como las tortas de frijol rueda y "neem"

contienen compuestos tóxicos para los nematodos (Rodríguez-Kabana *et al*, 1987).

**Modificación del Ambiente del Suelo.** Se conoce que muchas coberturas de cultivos y enmiendas orgánicas modifican varios parámetros del suelo, especialmente su temperatura y humedad (Cook *et al*, 1978). El aumento de las enfermedades radical y foliar producidas por *Phytophthora* en manzano al aplicarse un mantillo de paja, correlacionó significativamente con una condición de saturación prolongada del suelo en las parcelas bajo la cobertura de paja (Merwin *et al*, 1992). De forma similar, el pobre crecimiento y bajo rendimiento de trigo sembrado con una cobertura de paja de trigo se atribuyó al mantenimiento de una humedad ideal, en los primeros 10 a 15 cm del suelo, para las actividades y el daño de *R. solani*, *Pythium* spp. y *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* (Cook y Haglund, 1991).

**Interferencia con la Diseminación de Inóculo.** Se sabe que las coberturas y enmiendas orgánicas y los cultivos de cobertura tienen influencia sobre la supervivencia, producción y diseminación del inóculo primario y secundario de patógenos del suelo y aéreos. Varios patógenos del suelo, como *Rhizoctonia solani* y su fase perfecta *Thanatephorus cucumeris*, también causan infecciones aéreas. Las enmiendas que se dejan sobre la superficie del suelo o los mantillos de vegetación natural, como en el tradicional sistema de producción "tapado", controlaron eficientemente la telaraña en frijol al proveer una barrera física para la diseminación del inóculo primario del patógeno (esclerocios y fragmentos de micelio de *T. cucumeris* en suelo infestado salpicado por la lluvia) (Galindo *et al*, 1982; Galindo *et al*, 1983).

**Estímulo de Agentes de Control Biológico Antagonistas Específicos, Parásitos o Predadores.** Como se discutió con anterioridad, el efecto principal de las coberturas y enmiendas orgánicas es a través de la estimulación de la actividad microbiana en detrimento de los patógenos de las plantas. Así, se ha reconocido y aceptado, desde hace mucho tiempo, al uso de coberturas y otras enmiendas orgánicas como una forma de control biológico (Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978). Además, existen muchos ejemplos que muestran que la adición o el manejo de coberturas y enmiendas orgánicas han resultado en el estímulo de agentes biológicos específicos que afectaron directamente a los patógenos meta. Por ejemplo, la adición de enmiendas de quitina al suelo aumentó la población de varias especies fungosas que tenían capacidad quitinolítica y que además eran colonizadoras de huevos de nematodos (Rodríguez-Kabana *et al*, 1987).

## Conclusiones y Necesidades de Investigación Futura.

Históricamente, en muchos sistemas agrícolas sostenibles se incorporaban grandes cantidades de materia orgánica al suelo. Además de los beneficios agronómicos, esta incorporación de materia orgánica generalmente resultaba en una menor incidencia y severidad de las enfermedades radicales causadas por los patógenos del suelo así como de otras enfermedades. Las coberturas y enmiendas al suelo (incluyendo los cultivos de cobertura y

compost) inhiben las enfermedades de las plantas, especialmente las radicales, al reducir el salpique de suelo/inóculo, influenciar los parámetros del suelo como la humedad y la temperatura y fomentando la actividad microbiana antagonista a los fitopatógenos. En el trópico cálido y húmedo, donde el crecimiento vegetal es rápido y exuberante, el uso de abonos verdes y vegetación natural como cobertura (como en el sistema de corte y cobertura o tapado) debe ser tomado en cuenta ya que provee, además de los beneficios agronómicos, una práctica de manejo efectiva para algunas enfermedades importantes. Sin embargo, existe la necesidad de estudiar el efecto del uso continuo de estos abonos y coberturas orgánicas sobre otras enfermedades y plagas, en las diferentes zonas ecológicas y bajo los diferentes sistemas de producción prevalentes en el trópico. Además, los mecanismos por los cuales estas coberturas y enmiendas orgánicas inhiben los patógenos de las plantas, requieren de estudios profundos. Dilucidar el (o los) mecanismo(s) de inhibición de los patógenos del suelo permitiría fomentar tales actividades y su adaptación a otras áreas ecológicas y suelos. Más aún, se requiere investigación sobre la integración del uso de coberturas y enmiendas orgánicas, con las otras medidas de manejo de plagas y enfermedades necesarias en cada sistema de producción. Finalmente, hay una gran necesidad por un mayor financiamiento para investigación en coberturas y enmiendas orgánicas. Desafortunadamente, en la actualidad sólo se dispone de fondos minúsculos para la investigación en esta área, en especial en países en desarrollo. Sin embargo, se gastan en la actualidad enormes cantidades de dinero en investigación en áreas como la ingeniería genética para el desarrollo de resistencia en el hospedero y en nuevos productos químicos para el manejo de patógenos y plagas de las plantas. Aunque estos temas son importantes, los beneficios de la investigación en coberturas y enmiendas orgánicas podrían ser de igual o mayor importancia en el logro de un manejo apropiado de plagas, un ambiente mejor y una mejor calidad de vida para la gente de países en desarrollo, que la investigación actual en biotecnología y desarrollo de agroquímicos.

## Literatura Citada

Abawi, G. S., y M. A. Pastor-Corrales. 1990. Root rots of beans in Latin América and Africa: Diagnosis, research methodologies, and Management strategies. CIAT Publication No. 35, CIAT, A. A. 6713, Cali, Colombia.

Abawi, G. S. 1992a. The role of cultural practices in the management of root rot of snap beans in New York. (En preparación).

Abawi, G. S. 1992b. Influence of reduced tillage practices on root rot severity and yield of snap beans, 1991. Am. Phytopathol. Soc., Biological and Cultural Tests 7:9.

Allarmas, R. P., J. M. Kraft, y D. E. Miller. 1988. Effects of soil compaction and incorporated crop residues on root health. Ann. Rev. Phytopathology 26:219-243.

Allen, D. J. 1983. The pathology of tropical food legumes: Disease resistance in crop improvement. Wiley, Chichester, England.

Andrews, K. L. 1987. La importancia de las babosa vernicellidos en Centroamerica. CEIBA 28: 149-153. .

Beaver, P. C., R. C. Jung, y E. W. Cupp. 1984. Clinical Parasitology. 9th Ed. Lea and Febiger, Philadelphia.

Cook, R. J., y K. F. Baker. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Cook, R. J., y W. A. Haglund. 1991. Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not pyhtotoxins from the straw. Soil Biol. Biochem 23:1125-1132.

Cook, R. J., M. G. Boosalis, y B. Doupnik. 1978. Influence of crop residues on plant disease. Chapter 8, pp. 147-163. In: Crop Residue Managment systems, Am. Soc. Agron. Spec. Publ. 31, Madison, WI.

Galindo, J. J., G. S. Abawi, H. D. Thurston, y G. Galvez. 1982. "Tapado", controlling web blight of beans on small farms in Central América. New York Food and Life Sciences 14:21-25.

Galindo, J. J., G. S. Abawi, H. D. Thurston, y G. Galvez. 1983. Effect of mulching on web blight in Costa Rica. Phytopathology 73:610-615.

Hoitink, H. A. J., y P. C. Fahy. 1986. Basis for the biological control of soilborne plant pathogens with composts. Ann. Rev. Phytopathology 24:93-114

Lewis, J. A., y G. C. Papavizas. 1975. Survival and multiplication of soilborne plant pathogens as affected by plant tissue amendments. pp. 84-89. In: Biology and control of soil-borne plant pathogens, G. W. Bruehl (ed.), APS, St Paul, MN.

Lindernnan, R. G., and R. G. Gilbert. 1975. Influence of volatiles of plant origin on soil-borne pathogens. pp. 90-99. In: Biology and control of soilborne plant pathogens, G. W. Bruehl (ed.), The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Lumsden, R. D., R. Gracia-E., J. A. Lewis, and G. A. Papavisaz. 1987. Suppression of damping-off caused by *Pythium* spp. in soil from indigenous Mexican chinampa agricultural system. Soil Biol. Biochem. 19:501 -508.

Merwin, I. A., W. F. Wilcox, and W. C. Stiles. 1992. Influence of orchard ground management on the development of *Pythophthora* crown and root rots of apple. Plant Disease 76: 199-205

Mojtahedi, H., G. S. Santo, A. N. Hang, y J. H. Wilson. 1991. Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. Journal of Nematology 23:170-174.

- Mullin, B. A., G. S. Abawi, M. A. Pastor-Corrales, y J. L. Kornegay. 1991. Root-knot nematodes associated with beans in Colombia and Peru. *Plant Disease* 75: 1208-1211.
- Muller, R., y P. S. Gooch. 1982. Organic amendments in nematode control: An examination of the literature. *Nematropica* 12:319-326.
- Nelson, E. B., y C. M. Craft. 1992. Suppression of dollar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass turf with compost-amended topdressing. *Plant Disease* 76:954-958.
- Nusbaum, C. J., y H. Ferris. 1973. The role of cropping systems in nematode population management. *Ann. Rev. Phytopathology* 11: 423-440.
- Palti, J. 1981. Cultural practices y infectious crop diseases. Springer-Verlag, Berlin.
- Patiño, V. M. 1965. Historia de la actividad agropecuaria en América Equinoccia. La Edición. Imprenta Departmental, Cali, Colombia.
- Patrick, Z. A., T. A. Toussoun, y L. W. Koch. 1964. Effect of crop-residue decomposition products on plant roots. *Ann. Rev. Phytopathology* 2:267-292.
- Rodríguez-Kabana, R., G. Morgan-Jones, y I. Chet. 1987. Biological control of nematodes: Soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil* 100:237-247.
- Rodríguez-Kabana, R., J. W. Kloepper, D. G. Robertson, y L. W. Wells. 1992. Velvetbean for the management of root-knot and southern blight peanut. *Nematropica* 22:75-80.
- Rowe-Dutton, P. 1957. The mulching of vegetables. Comm. Agric. Bur., Farnham Royal, England.
- Schippers, B., A. W. Bakker, y P. A. H. M. Bakker. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathology* 25:339-358.
- Sumner, D. R., B. Doupnik, y M. G. Boosalis. 1981. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathology* 19: 167-187.
- Thurston, H. D. 1992.a. Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. Westview Press, Boulder, Co.
- Thurston, H. D. 1992.b. Slash/mulch systems: Neglected sustainable tropical agroecosystems.
- Thurston, H. D. 1984. Topical Plant Diseases. The American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota. 208 pp.

Treacy, J. M. 1989. Agricultural terraces in Peru's Colca Valley: promises and problems of an ancient technology. PP. 209-229. In: Strategies for sustainable development. Browder, J. O., ed. Westview Press, Boulder, Co.

Wellman, F. L. 1972. Tropical American plant diseases. The Scarecrow Press, Metuchen, New Jersey.

Zuckerman, B. M., M. B. Dicklow, G. C. Coles, R. Garcia-E, y N. Marban Mendoza. 1989. Suppression of plant parasitic nematodes in the Chinampa agricultural soils. *Journal of Chemical Ecology* 15:1947-1955.

# Efecto de las Coberturas y Enmiendas Orgánicas al Suelo y de los Cultivos de Cobertura sobre los Patógenos del Suelo y las Enfermedades Radicales: una Revisión.

George S. Abawi y H. David Thurston<sup>1</sup>

## Introducción

La nomenclatura de materiales orgánicos disponibles como mantillos (cobertura muerta), enmiendas al suelo y cultivos de cobertura se usan aquí según las definiciones dadas por Palti (Palti, 1981). Los materiales orgánicos, como rastrojos o malezas cortadas, que se dejan o distribuyen sobre la superficie del suelo se consideran como mantillo o cobertura muerta. Pero los materiales orgánicos que se incorporan al suelo se consideran como enmiendas, mientras cultivos de cobertura se refiere a aquellas especies de cultivos que se siembran para ser usados como abono verde. Los sistemas de producción de corte y cobertura<sup>2</sup> practicados por los agricultores tradicionales son variados, pero todos producen y mantienen cantidades considerables de materia orgánica sobre el suelo (Patiño, 1965; Thurston, 1992b). Así, las cantidades voluminosas de materia orgánica provistas por los diferentes sistemas de corte y cobertura, crean una gruesa capa sobre el suelo, que se descompone a tasas obviamente diferentes. Muchas otras formas de materia orgánica, como residuos de cultivos frescos o en compost, lodo de los ríos, desechos humanos o animales, "barba de viejo", plantas acuáticas y varias otras, han sido usadas por los agricultores tradicionales, especialmente en China y México. Los efectos beneficiosos de la materia orgánica al mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, reducir la erosión, aumentar la capacidad de retención de agua y mejorar la estructura y otras propiedades del suelo, son bien conocidas (Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). También ha sido demostrado que las coberturas y otras formas de materia orgánica contribuyen al establecimiento de condiciones del suelo que son ideales para el crecimiento radical y así resultan, generalmente, en un mayor vigor y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, durante la descomposición de ciertos materiales orgánicos pueden producirse metabolitos fitotóxicos que pueden, directa o indirectamente, ejercer un efecto adverso sobre el crecimiento de las plantas (Linderman y Gilbert, 1975; Patrick *et al.*, 1964).

---

<sup>1</sup>Departments of Plant Pathology, Cornell University, Geneva and Ithaca, NY

<sup>2</sup>También denominados de corta y pudre o tapado; "slash/mulch" en el original en inglés. (N. de la T.)

Las enfermedades radicales producidas por hongos y nematodos patogénicos son comunes en muchas especies cultivadas en América Latina, tales como las leguminosas comestibles (Abawi y Pastor-Corrales, 1990; Allen, 1983; Wellman, 1972). Por ejemplo, hay seis pudriciones de la raíz consideradas como de importancia primordial en el frijol común (Phaseolus vulgaris), sembrado en las áreas de producción principales de América Latina. Estas son amarillamiento por Fusarium (causado por Fusarium oxysporum f.sp. phaseoli), pudrición de la raíz por Fusarium (causado por F. solani f. sp. phaseoli), pudrición carbón (causada por Macrophomina phaseolina), pudrición de la raíz por Rhizoctonia (causada por Rhizoctonia solani), quema (causada por Sclerotium rolfsii) y nematodos de agallas (Meloidogyne spp, especialmente M. incognita y M. javanica) (Abawi y Pastor-Corrales, 1990; Mullin et al, 1991).

Una o varias de estas enfermedades pueden predominar en un sistema de cultivo y/o área específica. Las pudriciones de la raíz son más severas en condiciones de suelos pobres, con características tales como bajo nivel de materia orgánica, estructura deficiente, alta compactación con drenaje inadecuado y otras. Además se sabe que las enfermedades de la raíz se generalizan cuando se utilizan cultivos susceptibles en una secuencia, o asociados de tal forma, que se favorezca la acumulación de altas densidades de población de patógenos del suelo. Las raíces de las plantas infectadas severamente con patógenos del suelo son menos eficientes en la absorción de agua y nutrientes, especialmente si las plantas están en condiciones de estrés físico o biológico.

1991/10/10  
El uso de variedades de cultivos resistentes es la estrategia más efectiva, económica y práctica para el combate de las enfermedades del suelo, especialmente en el caso de pequeños agricultores con un bajo uso de insumos. Sin embargo, esta estrategia requiere el desarrollo de cultivares adaptados con resistencia a todos los patógenos del suelo más importantes de una zona ecológica y productiva dada. Hasta que tales cultivares se hagan disponibles, el control efectivo de enfermedades radicales sólo es posible a través de una combinación de medidas de control compatibles y apropiadas (control integrado). Por ejemplo, la falta (o bajo nivel) de resistencia a uno o más de los patógenos causantes de las principales enfermedades radicales en un área productiva, puede manejarse implementando una medida de control que sea cultural (mantillos y composts orgánicos, selección de una secuencia de cultivos apropiada, asociación de cultivos, siembra en lomillos, ajustes en la época de siembra, densidad de siembra, selección de herbicidas y fertilizantes, etc.), biológica (adición o incremento de los microorganismos beneficiosos del suelo), química (uso juicioso donde sea necesario, como en el tratamiento de semillas y otros materiales de siembra) o cualquier combinación de estas medidas.

El papel directo e indirecto de los residuos de cultivo y otras fuentes de materia orgánica sobre la sanidad de los cultivos y el rendimiento se conoce y ha sido documentado desde hace muchas décadas (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b; Thurston, 1984). Hoy, se cree que la mayor influencia de la materia orgánica sobre los patógenos radicales es a través de la modificación de las actividades microbianas del suelo, especialmente a través del estímulo de microorganismos antagónicos (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978). El siguiente es un breve resumen acerca del

efecto de los materiales orgánicos sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Sin embargo, sólo se presentan unos pocos ejemplos selectos y sólo se incluye un pequeño número de las numerosas referencias disponibles.

## La Materia Orgánica y la Incidencia y Severidad de las Enfermedades Radicales.

La mayor parte de la información disponible en la literatura indica que el mantenimiento de un alto nivel de materia orgánica en y sobre el suelo se asocia generalmente con una menor incidencia y severidad de enfermedades en la raíz (Cook y Baker, 1983; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). Escritores antiguos de China, Grecia, Roma, Arabia y España documentaron la importancia y el uso de materiales orgánicos en compost y varios tipos de abonos orgánicos para el mejoramiento de la producción de los cultivos y para el manejo de las enfermedades de las plantas (Thurston, 1992a).

Los productores tradicionales de China adicionan anualmente a sus tierras, grandes cantidades de materiales orgánicos y compost casero como fertilizante. Al considerar la naturaleza intensiva de los sistemas productivos usados en China, como los de hortalizas, uno esperaría encontrar un número considerable de enfermedades en las raíces que impacten la producción. Sin embargo, varios autores (Cook y Baker, 1983; Thurston, 1992a) y consultores, incluyendo el autor principal, han reportado la limitada ocurrencia e impacto de enfermedades radicales producidas por hongos y nematodos patógenos del suelo. Parece ser que la adición extensiva de abonos y compost, combinada con las inundaciones, son los factores principales en el mejoramiento de la sanidad de las raíces, al suprimir o eliminar las fuentes de inóculo de los patógenos del suelo así como al mejorar la estructura del suelo.

El sistema de producción en chinampas de Xochimilco, México, que data de la era azteca, también recibe anualmente grandes cantidades de lodo rico en nutrientes del fondo de los canales, las plantas acuáticas, los residuos de cultivo, las malezas, los desechos animales y otros materiales orgánicos que a menudo se hacen compost. No hay reportes disponibles que sugieran que las enfermedades radicales sean importantes en las chinampas. Recientemente se encontró (Lumsden *et al*, 1987; Zuckerman *et al*, 1989) que estos suelos contienen bajas densidades de población de hongos y nematodos patógenos. Varios agentes de control biológico recuperados de estos suelos suprimieron la población y el daño de *Pythium* spp. y el nematodo *Meloidogyne* spp. a cultivos hortícolas bajo condiciones experimentales.

En las tierras bajas y húmedas de los trópicos, la telaraña es la enfermedad más destructiva del frijol bajo condiciones de siembra en terreno limpio. Esta enfermedad es causada por el patógeno del suelo *Rhizoctonia solani* y su forma perfecta *Thanatephorus cucumeris*. La fuente principal de inóculo del patógeno, en condiciones de alta temperatura y humedad, son fragmentos de micelios y esclerocios libres en el suelo o como colonias en los

detritos. La inoculación del frijol ocurre, mayormente, por el salpique de gotas de lluvia con partículas de suelo infestado. Se encontró que esta enfermedad es de menor importancia en las parcelas de agricultores bajo el sistema tradicional de producción de "frijol tapado" (Galindo et al, 1982; Galindo et al, 1983). También se ha controlado eficientemente la enfermedad con coberturas de granza de arroz. Ambas prácticas fueron igualmente efectivas y superiores al tratamiento con fungicidas.

En muchas regiones del mundo, se usan ampliamente una gran variedad de terrazas, especialmente entre agricultores tradicionales con sistemas de producción agrícola en laderas (Thurston, 1992a; Treacy, 1989). En la construcción y preparación anual de las terrazas, se usaron grandes cantidades de materia orgánica, en la forma de malezas, residuos de cultivos, boñiga y otros. Esta, sin duda, contribuyó en la supresión de patógenos del suelo y en la sostenibilidad de estos sistemas a través de los siglos.

Las enfermedades radicales son generalmente raras en los ecosistemas no perturbados o naturales, mientras en los sistemas de producción convencionales los patógenos del suelo y las enfermedades radicales que causan son severas y, a menudo, un factor limitante de la producción (Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978). Se ha sugerido que el aumento en las enfermedades radicales en los sistemas de siembra convencionales puede deberse a las prácticas de labranza utilizadas y a la destrucción de la materia orgánica. Varios autores han revisado literatura y listado los numerosos ejemplos disponibles en que el manejo de los residuos de los cultivos o la adición de diferentes tipos de enmiendas orgánicas (ya sea fresca, seca o en compost) incrementaron o disminuyeron las poblaciones de los patógenos y sus enfermedades (Allarmas et al, 1988; Cook y Baker, 1983; Cook et al, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Palti, 1981; Patrick et al, 1964; Rowe-Dutton, 1957; Schippers et al, 1987; Sumner et al, 1981). La supresión exitosa de nematodos fitoparásitos, incluyendo el destructivo nematodo de las agallas (Meloidogyne spp.), ha sido reportada con el uso de cultivos de cobertura, cultivos trampa, secuencias de cultivos y adición de materia orgánica como enmienda (Muller y Gooch, 1982; Nusbaum y Ferris, 1973; Rodríguez-Kabana et al, 1987; Rodríguez-Kabana, 1992). Por ejemplo, recientemente se mostró que la siembra de colza (Brassica napus) cv. Jupiter por dos meses y su posterior incorporación como abono verde resultó en una reducción significativa de la población de Meloidogyne chitwoodi (Mojtahedi et al, 1991) y fue mejor que las enmiendas con brotes de maíz o trigo y que el tratamiento en barbecho. Una reducción en la población de M. chitwoodi y M. hapla ha sido correlacionada con un incremento del rendimiento de papa en la región noroeste de los Estados Unidos. Se encontró que la siembra de mucuna (Mucuna deeringiana) en rotación redujo la población de M. arenaria e incrementó el rendimiento de maní más eficientemente que el nematicida Aldicarb, en un sistema de producción de maní en monocultivo (Rodríguez-Kabana, 1992).

La incorporación de avena, cebada y maíz secos y las enmiendas con avena y maíz verdes, han demostrado reducir las pudriciones de la raíz de frijol causadas por Fusarium, Rhizoctonia y Thielaviopsis (Cook y Baker, 1983; Lewis y Papavizas, 1975). La incorporación de un cultivo de cobertura de cebada, centeno, trigo o avena antes de la siembra de frijol en Nueva York, contribuyó

a reducir la severidad de pudrición de la raíz y aumentó el rendimiento de frijol, siempre y cuando se dejara suficiente tiempo para la descomposición de los residuos de cultivo y así evitar daños por babosas y gusano de la semilla del maíz (Abawi, 1992). Se redujo el daño provocado por Phytophthora cinnamoni en aguacate con el uso de varias coberturas orgánicas (Thurston, 1992a). Las pudriciones radicales en cultivos ornamentales producidas por especies de Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia y Thielaviopsis se redujeron mediante el uso de compost preparado de cortezas de árbol y usado como mantillo o substrato de siembra (Hoitink y Fahy, 1986). La enfermedad producida por Sclerotinia homeocarpa en césped ("creeping bentgrass" y "bluegrass" anual) fue reducida en gran medida con la aplicación de abono enmendado con fertilizantes orgánicos comerciales compuestos por tortas de residuos animales y vegetales (Nelson y Craft, 1992). Esta enfermedad también fue suprimida por un compost de residuos de gallinero y un compost de 2,5 años de cieno de Endicott, Nueva York.

En contraste con los citados efectos beneficiosos de la materia orgánica en la reducción de las enfermedades radicales, existen varios ejemplos en la literatura que documentan los efectos directos o indirectos del manejo de ciertas coberturas y materia orgánica sobre el incremento en la severidad de las enfermedades radicales (Cook y Baker, 1983; Palti, 1981; Sumner et al, 1981; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). Se ha atribuido al manejo específico de la materia orgánica del suelo, el aumento en la severidad de enfermedades radicales producidas por Pythium spp., Rhizoctonia solani y Sclerotium rolfsii. Todos estos hongos son patógenos no especializados, con un amplio rango de hospederos, tienen buena capacidad saprofítica bajo ciertas condiciones y generalmente se ven favorecidos por la presencia de alta humedad. Un mantillo de paja en árboles de manzano causó un aumento significativo en las pudriciones por Phytophthora (35 % de infección) causadas por P. cactorum, P. megasperma y P. cambivora (Merwin et al, 1992). Los manzanos en cobertura viva de césped y "crown vetch" (Coronilla varia) se mantuvieron libres de estas enfermedades mientras los manzanos en los otros cinco sistemas de manejo de la vegetación de cobertura tuvieron una incidencia de la infección de hasta 6 %. Tres enfermedades de pudrición de la raíz en trigo se incrementaron cuando el trigo se sembró en suelo con una cobertura de paja de trigo del cultivo anterior (Cook y Haglund, 1991). Estas enfermedades fueron causadas por Gaeumannomyces graminis var. tritici, Rhizoctonia solani y Pythium spp. La pudrición radical del frijol causada por Rhizoctonia solani se incrementó en parcelas de labranza mínima en las cuales se mantuvo una cantidad considerable de residuos del cultivo anterior sobre y cerca de la superficie del suelo (Abawi, 1992b). Además, los tejidos radicales de los cultivos pueden predisponerse a la infección por patógenos del suelo debido a los metabolitos fitotóxicos (volátiles o no volátiles) que se producen durante la descomposición de la materia orgánica (Cook et al, 1978; Linderman y Gilbert, 1975; Patrick et al, 1964). El uso de ciertas coberturas y enmiendas orgánicas también han sido reportado como fuente de virus y causante de un aumento en la sobrevivencia de bacterias y hongos patógenos del follaje y de un incremento en el daño producido por babosas, gusanos como Hylemyia cilicrura (Rond) en maíz y otros insectos (Abawi, 1992; Andrews, 1987; Beaver et al, 1984; Cook et al, 1978).

# Mecanismos de Inhibición de los Patógenos del Suelo por la Materia Orgánica.

Tal como se presentó en párrafos anteriores, hay una larga historia y numerosos ejemplos que documentan el uso de coberturas y enmiendas orgánicas (incluyendo compost) en el control de enfermedades radicales y de otras enfermedades y plagas de los cultivos (Allarmas *et al.*, 1988; Cook y Baker, 1983; Cook *et al.*, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Palti, 1981; Rowe-Dutton, 1957; Schippers *et al.*, 1987; Thurston, 1992a; Thurston, 1992b). El manejo apropiado de las coberturas y enmiendas del suelo pueden y han resultado en medidas de combate eficientes y ecológicamente compatibles para las enfermedades de las plantas y en especial para las causadas por patógenos del suelo. Se han destinado considerables esfuerzos en la investigación tendiente a dilucidar cuáles son los mecanismos mediante los cuales las enmiendas y coberturas orgánicas suprimen a los patógenos del suelo y sus enfermedades radicales (Cook y Baker, 1983; Cook *et al.*, 1978; Hoitink y Fahy, 1986; Lewis y Papavizas, 1975; Linderman y Gilbert, 1975; Patrick *et al.*, 1964). Sin embargo, sólo están disponibles un número limitado de casos en que se conoce el(los) mecanismo(s) específico(s) en que ciertas coberturas o enmiendas orgánicas suprimen a los patógenos del suelo. Esto se debe a las diferencias en la composición química, estado de madurez y tasa de descomposición de las coberturas y enmiendas orgánicas, así como a la complejidad y diferencias en los parámetros del suelo (biológicos, químicos y físicos) y al ambiente. Obviamente, hay varios tipos y niveles de interacciones potenciales, en especial interacciones microbiales del suelo, resultantes del uso de coberturas y otras enmiendas orgánicas. Por lo tanto, es difícil verificar cuál(es) mecanismo(s) está(n) involucrado(s) en la supresión de los patógenos del suelo o cuán predecible es la efectividad de las coberturas y enmiendas orgánicas sobre los patógenos del suelo y las enfermedades que causan en ambientes diferentes.

Cook *et al.* (1978), al revisar la literatura, indicaron que los residuos de cultivos que se dejan en el campo afectan las enfermedades de las plantas en, al menos, las siguientes categorías:

1. Para muchos patógenos, los residuos proveen alimento y un lugar para vivir y reproducirse.
2. Los residuos afectan el ambiente físico ocupado por el hospedero y el patógeno.
3. Como enmiendas orgánicas del suelo, los residuos intensifican la actividad microbiana del suelo y esto, junto con una serie de productos de la descomposición (algunos fitotóxicos y otros fungitóxicos), pueden afectar a los patógenos, la susceptibilidad del hospedero o ambos.

Las categorías anteriores también son aplicables a las coberturas y a otras fuentes de enmiendas orgánicas. Otra influencia potencial de las coberturas y residuos de cultivo que se dejan sobre la superficie del suelo es la de actuar como una barrera física que prevenga el salpique de suelo infestado a los tejidos de las plantas, y así pueda prevenir o reducir el inóculo primario de ciertos patógenos del suelo (Galindo *et al.*, 1982; Galindo *et al.*, 1983). La siguiente es una breve discusión sobre algunos de los mecanismos reportados,

por los cuales las coberturas y las enmiendas orgánicas al suelo inhiben a los patógenos del suelo y a las enfermedades radicales:

#### **Fenómeno de Germinación y Lisis de los Propágulos de Fitopatógenos.**

Muchos estudios han mostrado que las coberturas y enmiendas orgánicas estimulan la germinación de los propágulos (tales como conidios, esclerocios, clamidósporas y otros) de hongos patógenos del suelo, a través de la liberación de nutrientes, metabolitos volátiles y otros compuestos (Cook y Baker, 1983; Cook et al., 1978; Lewis y Papavizas, 1975). Los tubos germinativos de los propágulos en germinación son entonces afectados por lisis antes de que sean capaces de infestar al hospedero, colonizar substratos apropiados o producir esporas secundarias u otras estructuras. Así, el proceso de germinación y lisis resulta en la reducción de la densidad del inóculo de patógenos del suelo y, subsecuentemente, una menor incidencia de enfermedades de las raíces. La lisis de los tubos germinativos puede ser causada por varios tipos de antagonismos y competencias debidos a las actividades microbiales estimuladas por las enmiendas orgánicas. Por ejemplo, varios residuos de cultivos causaron la germinación y lisis de los esclerocios de Phymatotrichum omnivorum resultando en el control de la pudrición de raíz por Phymatotrichum en algodón, mientras la adición de paja de avena, residuos de maíz o heno de alfalfa causaron una reducción del 90 % en la población de Thielaviopsis basicola y control de la pudrición negra de la raíz del frijol (Cook y Baker, 1983; Cook et al., 1978; Lewis y Papavizas, 1975).

**Competencia por nutrientes.** La adición de enmiendas al suelo, en especial aquéllas que contienen una elevada relación C:N, ha demostrado resultar en una competencia extrema por varios nutrientes, como nitrógeno, hierro y otros. Los organismos microbianos estimulados son mejores competidores en el suelo y así inmovilizan a estos nutrientes en sus células y matan a los patógenos por inanición o imponen una condición fungistática en el suelo. Por ejemplo, tejidos de maíz maduros y en descomposición redujeron la severidad de la pudrición radical por Rhizoctonia en frijol al inhibir el crecimiento de R. solani (Lewis y Papavizas, 1975). Otro ejemplo es la disminución de la pudrición radical por Fusarium en frijol mediante la incorporación de residuos de paja de cebada al suelo y la reversión de este efecto al agregar nitrógeno inorgánico a los residuos (Cook et al., 1978).

#### **Producción de Compuestos Tóxicos Volátiles o no Volátiles.**

Numerosos estudios han tratado el efecto biológico y químico de los productos de la descomposición de las coberturas y enmiendas orgánicas sobre los microorganismos del suelo y los cultivos (Linderman y Gilbert, 1975; Patrick et al., 1964). El uso de enmiendas con crucíferas (repollo, col rizada, nabo, mostaza, etc.) redujo la pudrición radical por Aphanomyces en arvejas a través de la producción de compuestos volátiles azufrados (como sulfuro de dimetil y otros) que resultaron tóxicos para A. euteiches. El amoníaco y el etileno producidos durante la descomposición de enmiendas orgánicas, son tóxicos para muchos hongos y nematodos patógenos del suelo. Se ha reportado que el amoníaco previno la germinación de zoosporas y mató el micelio de Phytophthora cinnamomi en condiciones in vitro (Lewis y Papavizas, 1975). Las maravillas (Tagetes spp.) producen tertienilo y otros politienilos que, se sabe, inhiben nematodos fitoparásitos como los productores de agallas y lesiones. Además materiales orgánicos tales como las tortas de frijol rueda y "neem"

contienen compuestos tóxicos para los nematodos (Rodríguez-Kabana *et al*, 1987).

**Modificación del Ambiente del Suelo.** Se conoce que muchas coberturas de cultivos y enmiendas orgánicas modifican varios parámetros del suelo, especialmente su temperatura y humedad (Cook *et al*, 1978). El aumento de las enfermedades radical y foliar producidas por *Phytophthora* en manzano al aplicarse un mantillo de paja, correlacionó significativamente con una condición de saturación prolongada del suelo en las parcelas bajo la cobertura de paja (Merwin *et al*, 1992). De forma similar, el pobre crecimiento y bajo rendimiento de trigo sembrado con una cobertura de paja de trigo se atribuyó al mantenimiento de una humedad ideal, en los primeros 10 a 15 cm del suelo, para las actividades y el daño de *R. solani*, *Pythium* spp. y *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* (Cook y Haglund, 1991).

**Interferencia con la Diseminación de Inóculo.** Se sabe que las coberturas y enmiendas orgánicas y los cultivos de cobertura tienen influencia sobre la supervivencia, producción y diseminación del inóculo primario y secundario de patógenos del suelo y aéreos. Varios patógenos del suelo, como *Rhizoctonia solani* y su fase perfecta *Thanatephorus cucumeris*, también causan infecciones aéreas. Las enmiendas que se dejan sobre la superficie del suelo o los mantillos de vegetación natural, como en el tradicional sistema de producción "tapado", controlaron eficientemente la telaraña en frijol al proveer una barrera física para la diseminación del inóculo primario del patógeno (esclerocios y fragmentos de micelio de *T. cucumeris* en suelo infestado salpicado por la lluvia) (Galindo *et al*, 1982; Galindo *et al*, 1983).

**Estímulo de Agentes de Control Biológico Antagonistas Específicos, Parásitos o Predadores.** Como se discutió con anterioridad, el efecto principal de las coberturas y enmiendas orgánicas es a través de la estimulación de la actividad microbiana en detrimento de los patógenos de las plantas. Así, se ha reconocido y aceptado, desde hace mucho tiempo, al uso de coberturas y otras enmiendas orgánicas como una forma de control biológico (Cook y Baker, 1983; Cook *et al*, 1978). Además, existen muchos ejemplos que muestran que la adición o el manejo de coberturas y enmiendas orgánicas han resultado en el estímulo de agentes biológicos específicos que afectaron directamente a los patógenos meta. Por ejemplo, la adición de enmiendas de quitina al suelo aumentó la población de varias especies fungosas que tenían capacidad quitinolítica y que además eran colonizadoras de huevos de nematodos (Rodríguez-Kabana *et al*, 1987).

## Conclusiones y Necesidades de Investigación Futura.

Históricamente, en muchos sistemas agrícolas sostenibles se incorporaban grandes cantidades de materia orgánica al suelo. Además de los beneficios agronómicos, esta incorporación de materia orgánica generalmente resultaba en una menor incidencia y severidad de las enfermedades radicales causadas por los patógenos del suelo así como de otras enfermedades. Las coberturas y enmiendas al suelo (incluyendo los cultivos de cobertura y

compost) inhiben las enfermedades de las plantas, especialmente las radicales, al reducir el salpique de suelo/inóculo, influenciar los parámetros del suelo como la humedad y la temperatura y fomentando la actividad microbiana antagonista a los fitopatógenos. En el trópico cálido y húmedo, donde el crecimiento vegetal es rápido y exuberante, el uso de abonos verdes y vegetación natural como cobertura (como en el sistema de corte y cobertura o tapado) debe ser tomado en cuenta ya que provee, además de los beneficios agronómicos, una práctica de manejo efectiva para algunas enfermedades importantes. Sin embargo, existe la necesidad de estudiar el efecto del uso continuo de estos abonos y coberturas orgánicas sobre otras enfermedades y plagas, en las diferentes zonas ecológicas y bajo los diferentes sistemas de producción prevalentes en el trópico. Además, los mecanismos por los cuales estas coberturas y enmiendas orgánicas inhiben los patógenos de las plantas, requieren de estudios profundos. Dilucidar el (o los) mecanismo(s) de inhibición de los patógenos del suelo permitiría fomentar tales actividades y su adaptación a otras áreas ecológicas y suelos. Más aún, se requiere investigación sobre la integración del uso de coberturas y enmiendas orgánicas, con las otras medidas de manejo de plagas y enfermedades necesarias en cada sistema de producción. Finalmente, hay una gran necesidad por un mayor financiamiento para investigación en coberturas y enmiendas orgánicas. Desafortunadamente, en la actualidad sólo se dispone de fondos minúsculos para la investigación en esta área, en especial en países en desarrollo. Sin embargo, se gastan en la actualidad enormes cantidades de dinero en investigación en áreas como la ingeniería genética para el desarrollo de resistencia en el hospedero y en nuevos productos químicos para el manejo de patógenos y plagas de las plantas. Aunque estos temas son importantes, los beneficios de la investigación en coberturas y enmiendas orgánicas podrían ser de igual o mayor importancia en el logro de un manejo apropiado de plagas, un ambiente mejor y una mejor calidad de vida para la gente de países en desarrollo, que la investigación actual en biotecnología y desarrollo de agroquímicos.

## Literatura Citada

Abawi, G. S., y M. A. Pastor-Corrales. 1990. Root rots of beans in Latin America and Africa: Diagnosis, research methodologies, and Management strategies. CIAT Publication No. 35, CIAT, A. A. 6713, Cali, Colombia.

Abawi, G. S. 1992a. The role of cultural practices in the management of root rot of snap beans in New York. (En preparación).

Abawi, G. S. 1992b. Influence of reduced tillage practices on root rot severity and yield of snap beans, 1991. Am. Phytopathol. Soc., Biological and Cultural Tests 7:9.

Allarmas, R. P., J. M. Kraft, y D. E. Miller. 1988. Effects of soil compaction and incorporated crop residues on root health. Ann. Rev. Phytopathology 26:219-243.

Allen, D. J. 1983. The pathology of tropical food legumes: Disease resistance in crop improvement. Wiley, Chichester, England.

- Andrews, K. L. 1987. La importancia de las babosa vernicellidos en Centroamerica. CEIBA 28: 149-153. .
- Beaver, P. C., R. C. Jung, y E. W. Cupp. 1984. Clinical Parasitology. 9th Ed. Lea and Febiger, Philadelphia.
- Cook, R. J., y K. F. Baker. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Cook, R. J., y W. A. Haglund. 1991. Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not pyhtotoxins from the straw. Soil Biol. Biochem 23:1125-1132.
- Cook, R. J., M. G. Boosalis, y B. Doupnik. 1978. Influence of crop residues on plant disease. Chapter 8, pp. 147-163. In: Crop Residue Managment systems, Am. Soc. Agron. Spec. Publ. 31, Madison, WI.
- Galindo, J. J., G. S. Abawi, H. D. Thurston, y G. Galvez. 1982. "Tapado", controlling web blight of beans on small farms in Central América. New York Food and Life Sciences 14:21-25.
- Galindo, J. J., G. S. Abawi, H. D. Thurston, y G. Galvez. 1983. Effect of mulching on web blight in Costa Rica. Phytopathology 73:610-615.
- Hoitink, H. A. J., y P. C. Fahy. 1986. Basis for the biological control of soilborne plant pathogens with composts. Ann. Rev. Phytopathology 24:93-114
- Lewis, J. A., y G. C. Papavizas. 1975. Survival and multiplication of soilborne plant pathogens as affected by plant tissue amendmets. pp. 84-89. In: Biology and control of soil-borne plant pathogens, G. W. Bruehl ted.), APS, St Paul, MN.
- Lindernnan, R. G., and R. G. Gilbert. 1975. Influence of volatiles of plant origin on soil-borne pathogens. pp. 90-99. In: Biology and control of soilborne plant pathogens, G. W. Bruehl (ed.), The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Lumsden, R. D., R. Gracia-E., J. A. Lewis, and G. A. Papavisaz. 1987. Suppression of damping-off caused by *Pythium* spp. in soil from indigenous Mexican chinampa agricultural system. Soil Biol. Biochem. 19:501 -508.
- Merwin, I. A., W. F. Wilcox, and W. C. Stiles. 1992. Influence of orchard ground management on the development of Pyhtophthora crown and root rots of apple. Plant Disease 76: 199-205
- Mojtahedi, H., G. S. Santo, A. N. Hang, yJ. H. Wilson. 1991. Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure. Journal of Nematology 23:170-174.

Mullin, B. A., G. S. Abawi, M. A. Pastor-Corrales, y J. L. Kornegay. 1991. Root-knot nematodes associated with beans in Colombia and Peru. *Plant Disease* 75: 1208-1211.

Muller, R., y P. S. Gooch. 1982. Organic amendments in nematode control: An examination of the literature. *Nematropica* 12:319-326.

Nelson, E. B., y C. M. Craft. 1992. Suppression of dollar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass turf with compost-amended topdressing. *Plant Disease* 76:954-958.

Nusbaum, C. J., y H. Ferris. 1973. The role of cropping systems in nematode population management. *Ann. Rev. Phytopathology* 11: 423-440.

Palti, J. 1981. Cultural practices y infectious crop diseases. Springer-Verlag, Berlin.

Patiño, V. M. 1965. Historia de la actividad agropecuaria en América Equinoccia. La Edición. Imprenta Departmental, Cali, Colombia.

Patrick, Z. A., T. A. Toussoun, y L. W. Koch. 1964. Effect of crop-residue decomposition products on plant roots. *Ann. Rev. Phytopathology* 2:267-292.

Rodríguez-Kabana, R., G. Morgan-Jones, y I. Chet. 1987. Biological control of nematodes: Soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil* 100:237-247.

Rodríguez-Kabana, R., J. W. Kloepper, D. G. Robertson, y L. W. Wells. 1992. Velvetbean for the management of root-knot and southern blight peanut. *Nematropica* 22:75-80.

Rowe-Dutton, P. 1957. The mulching of vegetables. Comm. Agric. Bur., Farnham Royal, England.

Schippers, B., A. W. Bakker, y P. A. H. M. Bakker. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathology* 25:339-358.

Sumner, D. R., B. Doupanik, y M. G. Boosalis. 1981. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathology* 19: 167- 187.

Thurston, H. D. 1992.a. Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. Westview Press, Boulder, Co.

Thurston, H. D. 1992.b. Slash/mulch systems: Neglected sustainable tropical agroecosystems.

Thurston, H. D. 1984. Topical Plant Diseases. The American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota. 208 pp.

Treacy, J. M. 1989. Agricultural terraces in Peru's Colca Valley: promises and problems of an ancient technology. PP. 209-229. In: Strategies for sustainable development. Browder, J. O., ed. Westview Press, Boulder, Co.

Wellman, F. L. 1972. Tropical American plant diseases. The Scarecrow Press, Metuchen, New Jersey.

Zuckerman, B. M., M. B. Dicklow, G. C. Coles, R. Garcia-E, y N. Marban Mendoza. 1989. Suppression of plant parasitic nematodes in the Chinampa agricultural soils. *Journal of Chemical Ecology* 15:1947-1955.

# LA MICROBIOLOGIA DE SUELOS

Dr. Eric B. Nelson

Universidad de Cornell

## Resumen

El propósito de este repaso es el de revisar el papel de los microorganismos no-patógenos en la salud de las plantas y del suelo. Se describirán los tipos de organismos que se hallan en suelos agrícolas y su importante actividad. Se discutirán estrategias para mantener la actividad microbiana.

Los suelos agrícolas varían considerablemente en composición y propiedades tanto físicas como químicas. Independientemente del tipo de suelo, textura, origen o historia, la mayoría de los suelos contienen una amplia gama de organismos vivos que fluctúan desde las lombrices más macroscópicas e insectos, hasta los invertebrados microscópicos, bacterias, hongos, actinomicetos, levaduras, algas y protozoos. Todos estos organismos están involucrados en una variedad de importantes actividades para mantener la salud del suelo y plantas, pero tal vez las más importantes y menos comprendidas son las actividades de los microorganismos del suelo.

Muchos microorganismos habitan suelos agrícolas en cantidades extremadamente altas (Tabla 1), convirtiendo al suelo en uno de los sitios más dinámicos, en lo que se refiere a actividad biológica, en la naturaleza.

Tabla 1 Población microbiana y biomasa en suelos agrícolas

Grupo microbiano	Rango de población (células/g suelo)	Kg./Hectárea x 48.83	Lbs./Manzana x 1.539
Bacteria	300,000 - 200,000,000	586	902
Actinomicetos	100,000 - 100,000,000	830	1278
Hongos	20,000 - 1,000,000	1709	2630
Protozoos	10,000 - 100,000	391	601
Levaduras	200 - 100,000	195	301
Algas	100 - 50,000	146	225

Con frecuencia se asume que ciertos suelos, tales como aquellos con un alto contenido de arena, aquellos que han recibido altas dosis de pesticidas, tienen una baja población de microorganismos. Esto es falso. Sin embargo, la actividad microbiana puede ser menor y ciertamente es diferente en estos tipos de suelos, comparados con aquellos que no han recibido aplicaciones de pesticidas o tienen un mayor contenido de materia orgánica. Es así que independientemente del tipo de suelo, textura o historia, está presente una abundante población microbiana.

Existe una considerable diversidad entre los microorganismos del suelo. Se ha estimado que de todos los microorganismos que tienen la tendencia a existir en el suelo, hemos

logrado clasificar menos del 2%. Muchas de las modernas técnicas moleculares utilizadas para extraer e identificar formas de microorganismos del suelo, están revelando nuevos microorganismos que no habían sido descubiertos previamente. Es muy seguro que alguna de la mayor diversidad biológica que se halla en el planeta, puede encontrarse dentro de las comunidades microbianas del suelo.

### Importante actividad microbiana en el suelo

Dada la población y diversidad de los microorganismos existentes en el suelo, no debería ser sorprendente que ellos ejecuten una variedad de funciones, muchas de las cuales son extremadamente importantes para la salud de las plantas y el suelo. Algunas de las mas importantes actividades de los microorganismos del suelo, se enumeran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2 - Importantes actividades microbiológicas del suelo

ACTIVIDAD	MAYOR BENEFICIO
Ciclo de nutrientes	-Proporcionar a las plantas los nutrientes (mayores y menores) -Prevenir la lixiviación de los nutrientes
Degradación de materia orgánica	- Aumento de diversidad biológica - Proporcionar a las plantas los nutrientes - Producción de materia orgánica humificada estimuladora al crecimiento de la planta - Efectos indirectos en el control de las plagas del suelo
Fijación de nitrógeno	- Incremento en la nutrición de nitrógeno
Producción de polisacáridos	- Mejora de la estructura del suelo
Producción de antibióticos compuestos	- Resistencia a pesticidas
Simbiosis micorrizales	- Mejora en la disponibilidad de sulfuro y fósforo
Promoción del crecimiento de la planta	- Mejora en el desarrollo de la raíz - Tolerancia a enfermedades - Mejora en la absorción de nutrientes - Mejora en la utilización de agua - Tolerancia al estres
Control natural de plagas	- Protección de las plagas

Estas actividades son extremadamente importantes para la función normal de la planta y ocurren todo el tiempo. Sin embargo, su ambiente biológico, físico y químico afecta a los microorganismos. Factores tales como el pH del suelo, la fertilidad, la cantidad de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad, la temperatura, la porosidad y presencia de oxígeno en el suelo, las variedades de plantas, etc. tienen un gran impacto sobre las diferentes clases de procesos microbianos que se llevan a cabo en los suelos y el espectro de los microorganismos involucrados en esos

procesos. Como resultado, todas las practicas de manejo que afectan estos factores, también afectan las actividades microbianas de una u otra forma. Cuando los procesos microbianos son afectados en forma negativa, generalmente vemos los efectos indirectos como reducción en la salud y vigor de la planta. Cuando son afectadas en forma positiva, esto se puede manifestar como un incremento en el vigor de la planta, una mejor tolerancia al stress, a las plagas, etc.

## **El concepto de la Rizosfera**

Muchas de las actividades microbiológicas en los suelos se llevan a cabo en cercana asociación con las raíces de las plantas. Las raíces de las plantas, durante el curso de su crecimiento y desarrollo normal, dejan escapar una variedad de compuestos orgánicos en el suelo inmediatamente adyacente que rodea la raíz. Esta zona de exudación de la raíz que influye en la actividad microbiana, es comúnmente llamada la rizosfera. (Figura 1).

Debido a estas exudaciones de la raíz, la rizosfera es un ambiente rico en carbono. Este carbono suministra mucha de la energía necesaria para el crecimiento microbiano y el metabolismo. Cualquiera de los factores que afectan la fisiología de la planta, afectan los tipos y cantidades de compuestos de carbono liberados de la raíz. Por ejemplo, especies de plantas, edad de las mismas, tipo de suelo, humedad, temperatura, fertilidad, intensidad de luz, y las actividades de los microorganismos, todo esto afecta el grado de exudación de la raíz y los tipos de actividad microbiana en la rizosfera.

En ausencia de plantas, la cantidad de carbono disponible para apoyar el crecimiento y actividad microbiana en el suelo se limita, ya que mucho del carbón está presente en forma de humus, que aunque es importante para la salud de la planta, está presente en un alto grado de descomposición y resistente a un mayor grado de la misma.

Enmiendas orgánicas en el suelo sirven para estimular su actividad microbiana y balancear las propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo, mejorando la salud de la planta y del suelo. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos dependen principalmente de la planta para suministrar la mayor parte de sus necesidades de carbono ya que los productos de la exudación de raíces (llamados exudados) y otras formas de carbono (tales como aquellas en forma de enmiendas orgánicas) se descomponen y se incorporan a la fracción de humus del suelo.

## **Bacteria predomina en la comunidad microbiana del suelo**

De los microorganismos hallados en suelos agrícolas, las bacterias son las que se hallan en mayor número y son quizás, las más diversas en su morfología y fisiología. Estas son organismos pequeños en forma de vara que se reproducen abundantemente por simple división de células, produciendo una enorme cantidad de células en un período corto de tiempo. Bajo condiciones favorables, las bacterias se pueden dividir cada 20 minutos, y es así que, una bacteria puede originar un millón de bacterias en 10 horas. Aunque el total de número de células puede ser enorme, el tamaño de cada una de estas células es bastante pequeño, usualmente no más de uno o dos micrones (0.00004 pulgadas).

Durante un explosivo crecimiento de bacteria, una diversa cantidad de fuentes de carbono debe estar disponible para apoyar tal cantidad de actividad metabólica. Durante la transformación de fuentes de carbono, se produce también un cierto número de productos metabólicos secundarios. Como resultado, en el suelo pueden ocurrir gran cantidad de cambios a raíz del crecimiento y metabolismo de las bacterias. Es este último atributo que hace a las bacterias tan significantes microorganismos en el ambiente del suelo.

Las bacterias necesitan agua para crecer y reproducirse. Su supervivencia está limitada en suelos bajos en humedad. A pesar de que muchas bacterias son saprófitas (las que prefieren vivir en materia orgánica en descomposición), algunas son endofíticas (por ejemplo, viven en plantas sanas, usualmente en la raíz), mientras que un número limitado pueden causar enfermedades en plantas, animales y humanos. Las halladas en casi todos los ecosistemas agrícolas son las de vida libre o las simbióticas. En ambos casos, usualmente son buenos competidores con los patógenos de las plantas que resultan en un daño reducido de hongos patogénicos de la planta.

De particular importancia para la salud de la planta, son las bacterias que juegan un papel en las transformaciones de nutrientes en el suelo y en la promoción directa de crecimiento de la planta. Gran cantidad de bacteria dentro de los géneros *Azotobacter*, *Asospirillum*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Rhizobium* son eficientes fijadores de nitrógeno. Muchas son organismos saprófitos y otras especies, considerando *Bradyrhizobium* y *Rhizobium*, forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas. Sin importar si son de vida libre o simbióticas, estas bacterias toman nitrógeno de la atmósfera y lo convierten en una forma que la planta puede utilizar. Las especies simbióticas pueden contribuir significativamente a la nutrición de nitrógeno de las plantas, tales como leguminosas (frijoles, frijol soya, arvejas, garbanzos, lentejas, etc.), mientras que las especies libres contribuyen a la nutrición de nitrógeno de las plantas tales como el arroz y otros cereales. Sin embargo, la enorme contribución de especies de vida libre a la nutrición de nitrógeno de otras especies de plantas bajo prácticas culturales diferentes, es desconocida. Si son manejados en forma efectiva, indudablemente, estos organismos tienen el potencial de contribuir substancialmente a la economía del nitrógeno en un sistema de cosecha.

Muchas bacterias producen, en forma natural, hormonas que estimulan el crecimiento de la planta. Las bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* son particularmente conocidas por sus efectos que promueven el crecimiento. Las especies de *Azospirillum* son particularmente eficientes en la estimulación del crecimiento de la raíz y la promoción del establecimiento de plántulas mientras que las especies *Pseudomonas* son mejor conocidas por sus propiedades represivas de patógenos.

Algunos de los grupos bacterianos más importantes que tienen impacto en la salud de la planta son aquellos involucrados en el control biológico de fitopatógenos del suelo. Estas bacterias pueden hallarse en todos los tipos de suelo. Sus efectos pueden, en

ocasiones, no ser notados por largo tiempo. Sin embargo, pueden tener un impacto enorme en el desarrollo de enfermedades. En algunos casos, enormes cantidades de estas bacterias son responsables por el desarrollo de los que llamamos suelos supresivos. Estos son suelos donde las condiciones son ideales para el desarrollo de enfermedades y están presentes los patógenos, pero no se desarrolla ninguna enfermedad por la actividad de esta clase de control biológico de las bacterias. Estas bacterias inhiben la actividad de los patógenos de las plantas al competir por recursos, produciendo compuestos antibióticos o actuando ocasionalmente como parásitos de los hongos. Ya que todas estas bacterias prefieren vivir en tejido muerto o en descomposición, grandes cantidades de materia orgánica, ya sea en forma de cultivos de cobertura o enmiendas directas del suelo, son usualmente muy benéficas en la promoción de actividades de estas bacterias. Muchas de estas bacterias de control biológico se pueden hallar en tipos muy particulares de materia orgánica tales como el compost. De hecho, la aplicación de compost ha sido utilizada como una alternativa muy efectiva a los fungicidas en un sinnúmero de ocasiones.

## Hongos - Tanto amigo, como enemigo

Los hongos son el grupo microbiano con la mayor cantidad de biomasa viva existente en suelos agrícolas. Los hongos son mejor conocidos por su actividad como causantes de enfermedades en las plantas debido a que la mayoría de las enfermedades de plantas económicamente importantes son causadas por hongos. Sin embargo, los hongos patogénicos representan solo una pequeña proporción del total de hongos que viven en el suelo. La gran mayoría de los hongos hallados en suelos agrícolas son benéficos para la salud de la planta. Algunos de los géneros que más se encuentran en el suelo incluyen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Fusarium*, *Mucor* y *Mortierella*.

A diferencia de las bacterias, los hongos crecen en forma de filamento y se reproducen por esporas. Los hongos obtienen la energía para su crecimiento, primordialmente a través de la descomposición de materia orgánica. Generalmente los hongos son más prevalentes que las bacterias en suelos con pH inferior a 5.5, mientras que las bacterias tienden a predominar en suelos con un pH alto. Ya que los fungicidas son los químicos primordialmente utilizados para las enfermedades fitopatógenas del suelo, los suelos en estos lugares pueden variar dramáticamente en la composición de comunidades de hongos, dependiendo del tipo, tasa, y frecuencia con que se aplican los fungicidas. Además de las actividades tanto patogénicas como de descomposición de materia orgánica de los hongos del suelo, algunos grupos efectúan funciones más específicas en la rizosfera.

Los hongos micorrizales son un grupo de hongos parásitos especializados que forman asociaciones simbióticas únicas con las raíces de las plantas, llamadas *micorrizas* (micor= hongos, rizas = raíces). En relaciones micorrizales, los hongos se benefician del carbono proporcionado por la planta mientras que la planta se beneficia del incremento de nutrición de fósforo y el movimiento del agua hacia las raíces. Se ha reportado que casi todas las plantas son micorrizales. Como con otros hongos, los micorrizales son

sensitivos a un número de fungicidas usualmente utilizado en el manejo de enfermedades.

## **Los actinomicetos producen antibióticos supresores a patógenos de plantas**

Los actinomicetos son uno de los grupos menos conocidos y menos comprendidos de los microorganismos del suelo. Estos microbios son clasificados generalmente cerca a las bacterias, pero crecen como los hongos. Aún cuando sus poblaciones en algunos suelos puede ser bastante altas, su tasa de crecimiento es mucho más lenta que cualquiera de los otros microorganismos del suelo. Gran cantidad del olor característico a suelos con gran cantidad de materia orgánica, proviene de compuestos volátiles producidos por actinomicetos.

Los actinomicetos típicamente son más abundantes en suelos secos, altos en materia orgánica o en suelos con temperaturas altas. Como grupo, no toleran suelos con bajo pH (por ejemplo inferiores a 5.0). Prefieren crecer en temperaturas de 80 a 100 grados Fahrenheit (26 a 38 grados Centígrados). Algunos de los mayores géneros de actinomicetos en el suelo incluyen *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora* y *Actinoplanes*.

Estos microorganismos son más conocidos por sus habilidades de producir un cierto número de importantes compuestos tanto médicos como industriales. Muchos de los antibióticos clínicamente importantes utilizados en la medicina tanto humana como animal provienen de actinomicetos del suelo. Como los hongos, los actinomicetos dependen en la materia orgánica para nutrirse. Particularmente, los actinomicetos parecen estar más adaptados a la descomposición de los polímeros de plantas más resistentes tales como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina así como la quitina. Al hacerlo, los actinomicetos juegan un papel importante en la formación de humus en el suelo.

Los actinomicetos también juegan un papel en la supresión de enfermedades fitopatógenas del suelo. Muchos de los compuestos antibióticos producidos por los actinomicetos también afectan el crecimiento y desarrollo de hongos patogénicos. El compost es particularmente rico en fuentes de actinomicetos que suprimen patógenos en las plantas. Una parte de los efectos benéficos de enmendar el suelo con compost es el control de enfermedades proporcionado por los actinomicetos que habitan este compost.

## **Cómo maximizar la actividad microbiana del suelo**

Debería ser aparente que el suelo contiene una gran variedad y abundante cantidad de microorganismos. Estos microbios influyen en todos los procesos importantes relacionados con la nutrición de las plantas y el mantenimiento general de la salud de la misma y del suelo. Más aún, las comunidades microbianas del suelo proporcionan un recurso genético de productos y procesos potencialmente útiles que pueden ser

# El suelo: un organismo vivo

Un suelo vivo presenta una gran actividad biológica, producto de la enorme cantidad de microorganismos que lo habitan, encontrándose en él: bacterias, hongos, algas, protozoarios, anélidos, etc., que se cuentan por varios cientos de miles en un gramo de suelo y su población aumenta mucho más cerca de la zona radicular inmediata (rizósfera). Se estima que un metro cuadrado de suelo vivo contiene 10 millones de nemátodos, 100 mil colémbolos, 45 mil anélidos y unos 40 mil insectos y ácaros; asimismo, un gramo de suelo contiene: unas 500 mil bacterias, 400 mil hongos, 50 mil algas y unos 30 mil protozoarios aproximadamente. Un gramo de suelo vivo además, puede contener más o menos 10 millones de bacterias, pudiendo encontrarse de 100 a 200 millones de bacterias en la rizósfera.

La acción conjunta de los factores bióticos y abióticos en el proceso de formación del suelo contribuye a la formación de una capa superficial humosa muy apreciada por los agricultores. El humus, es el resultado de la descomposición cíclica de la materia orgánica a consecuencia de la actividad del edafón, que solubiliza y libera los nutrientes a ser absorbidos por las plantas. En condiciones tropicales, la tasa de acumulación de humus en el suelo es baja, por lo que es muy importante fomentar el reciclaje «intensivo» de la materia orgánica.

Casi hasta mediados del siglo XIX, prevaleció la «teoría del humus», como alimento básico para las plantas; pero, en 1844 J. Von Liebig, con la publicación de sus investigaciones, sentó las bases para la agricultura moderna, desde entonces el suelo ha sido objeto de múltiples y detallados estudios. Según Liebig, «todo lo que una planta necesita, puede ser encontrado en sus cenizas». Un raciocinio incompleto, que vió la descomposición de la materia orgánica como un proceso exclusivamente químico, propició el desarrollo de la química agrícola en forma unilateral. Por ello, sería interesante revisar la carta con la cual Liebig sale al paso de la mala interpretación que se ha hecho de su declaración de 50 artículos, pues sólo en uno sugiere explorar la pista de las restituciones minerales, ocupando un lugar importante la materia orgánica. Sin embargo, sobre los trabajos de Liebig se desarrollaron los métodos de la agricultura convencional moderna, que se basa en prácticas inadecuadas y nocivas para la fertilidad natural del suelo, como:

TOMADO DE: MANUEL DE AGRI-CULTURA ECOLÓGICA. 1996. MAELA Y SIMAS.  
POR ENRIQUE KOLSMANUS Y DAQUIN VASQUEZ

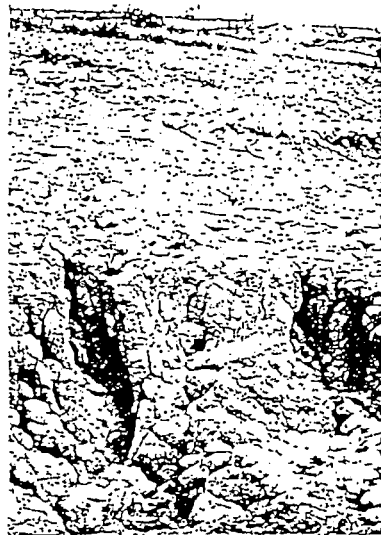
En muchas partes de los países de América Latina la agricultura tradicional y la convencional se desarrolla en condiciones de laderas, como consecuencia la erosión es la causa principal de destrucción de los recursos naturales, así como de fomento de la pobreza. Áreas plantadas con cultivos anuales (principalmente monocultivos), pueden perder por efecto de las lluvias y el viento alrededor de 200 TM/ha/año, y con ello unos 200 Kg de nitrógeno, 300 Kg de fósforo, 2000 Kg de potasio, 2000 Kg de materia orgánica y muchos Kg de micronutrientes, entre otros. Si no se controla a tiempo, la erosión continuará hasta llegar a la «roca madre», y poco a poco el agricultor irá notando que las raíces tienen más dificultad en profundizarse y tomar los nutrientes; que el suelo retiene poca agua y que los efectos de la sequía son mayores, al no poder infiltrarse el agua descenderá por escorrentía llevándose más suelo, dificultando cada vez más las labores agrícolas así como el crecimiento de las plantas. Finalmente, este proceso anula la viabilidad de la actividad agrícola, con el consiguiente éxodo de los agricultores hacia los centros urbanos; en el Perú se dice: «los agricultores bajan tras su suelo».



Solamente una adecuada conservación de suelos puede prevenir la pérdida de un recurso que demoró millones de años en formarse  
(Foto: E. Kolmons)

Prácticas agrícolas, como siembras a favor de la pendiente, araduras profundas, el monocultivo, la no consideración de la agroforestería, el uso de agroquímicos, la quema de pastos, dejar el suelo descubierto mucho tiempo, la no incorporación de materia orgánica, el no uso de barreras vivas, el sobrepastoreo, la falta de una conciencia forestal, el exceso de ecalado, entre otras, aceleran el proceso de erosión, en relación directa a la fisiografía del terreno. Pero debemos tener presente que, la erosión del suelo no sólo se produce por efecto de la pendiente y la escorrentía, sino también por el mal uso del riego, que incluso en lugares de baja pendiente puede empezar a lavar el horizonte superficial del suelo; asimismo, el viento (erosión eólica) puede transportar toneladas de partículas del suelo de un lugar a otro; en ambos casos, las partículas más finas, principales responsables de la fertilidad del suelo, son transportadas con mayor facilidad.

Para controlar la erosión es necesario conocer la capacidad de uso de cada suelo, pero mantener la cobertura vegetal es una medida fundamental. Existe pues, una obligación de desarrollar e implementar prácticas de conservación de suelos, como un elemento importante dentro de la agricultura ecológica, sobretudo, en lugares donde se practica «agricultura de laderas». Prácticas de siembra a curvas de nivel, formación lenta de terrazas, construcción de terrazas, la labranza mínima, construcción de terrazas con muros de pie-



La erosión de suelos muchas veces generan problemas de magnitud irreversible.  
(Foto: E. Kolmons).



"Deben ser fomentadas y ejecutadas todas aquellas prácticas que permitan la conservación física, química y biológica del suelo". (Foto: E. Kolmans).

dras, zanjas de infiltración, uso de barreras vivas-productivas, agroforestería, asociación y/o rotación de cultivos, abonos verdes, no quema de pastos, cortinas rompe vientos, entre otras, deben ser consideradas en la implementación de la agricultura ecológica dentro de la unidad productiva. Las medidas señaladas deben ejecutarse en función de la fisiografía del terreno, del clima, de la organización social, etc.

Con el triángulo textural, es posible cuantificar la fracción mecánica del suelo (porcentaje de arena, limo y arcilla), lo que permite clasificar el suelo según su textura (por ejemplo, arenoso, arcilloso, limoso o franco). La cruz de suelos, además de correlacionar las variables arenas, arcilla y limo y sus diversas combinaciones, integra dos variables más como son la cal y el humus, y podremos notar que se encuentran en relación inversa, pues, cuando la cantidad de una aumenta la otra disminuye, ya que la cal reacciona oxidando rápidamente la materia orgánica. Esto puede ayudarnos a visualizar los cuidados que debemos tener con el encalado.

La siguiente Cruz de Suelos da una idea general sobre las diversas categorías del suelo.

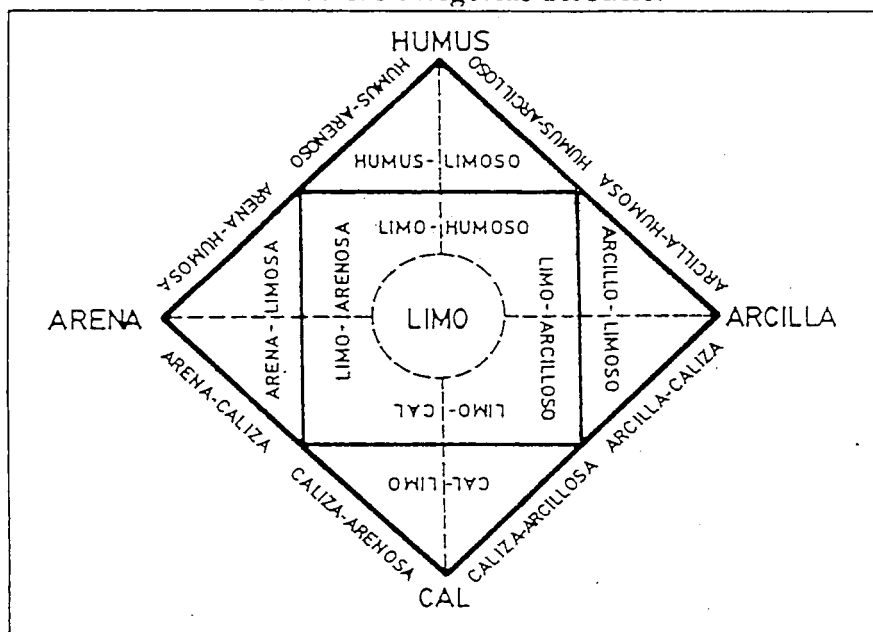
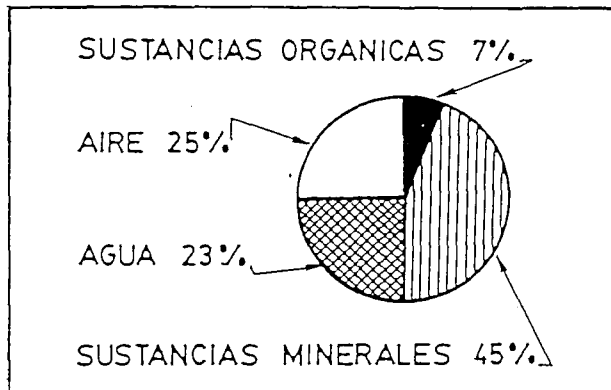
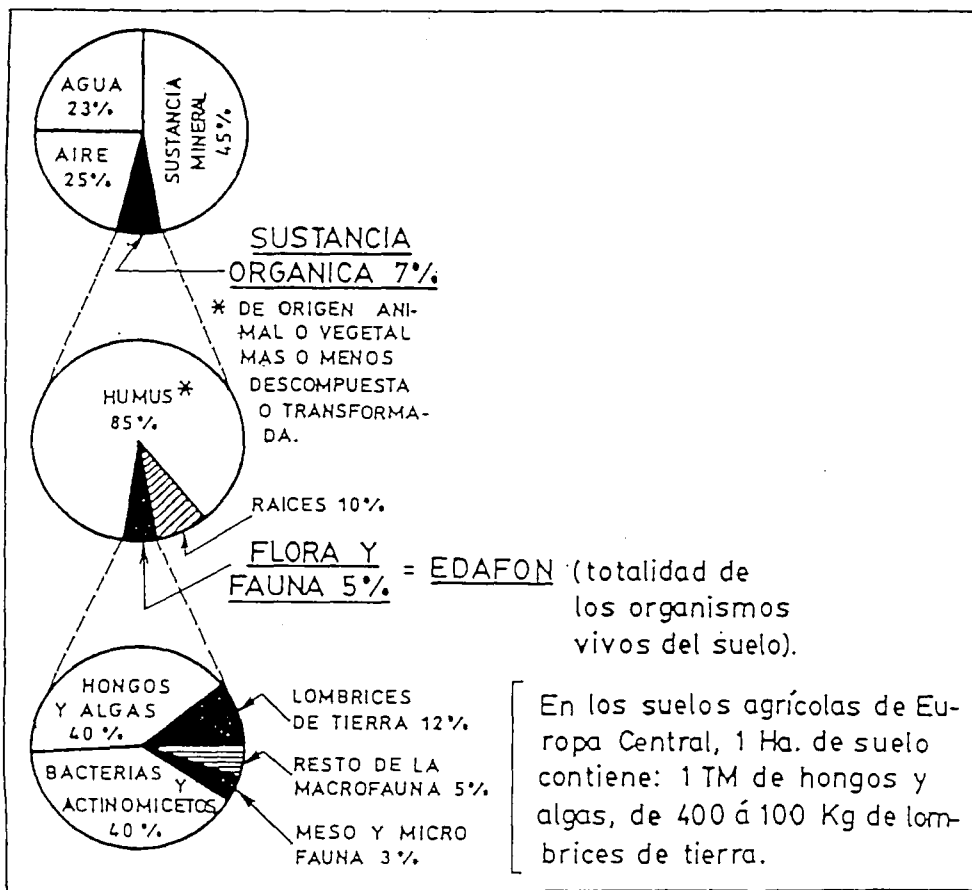


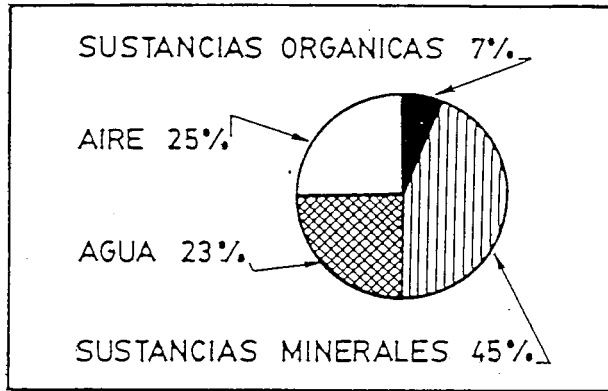
Fig. 1. Cruz de suelos.



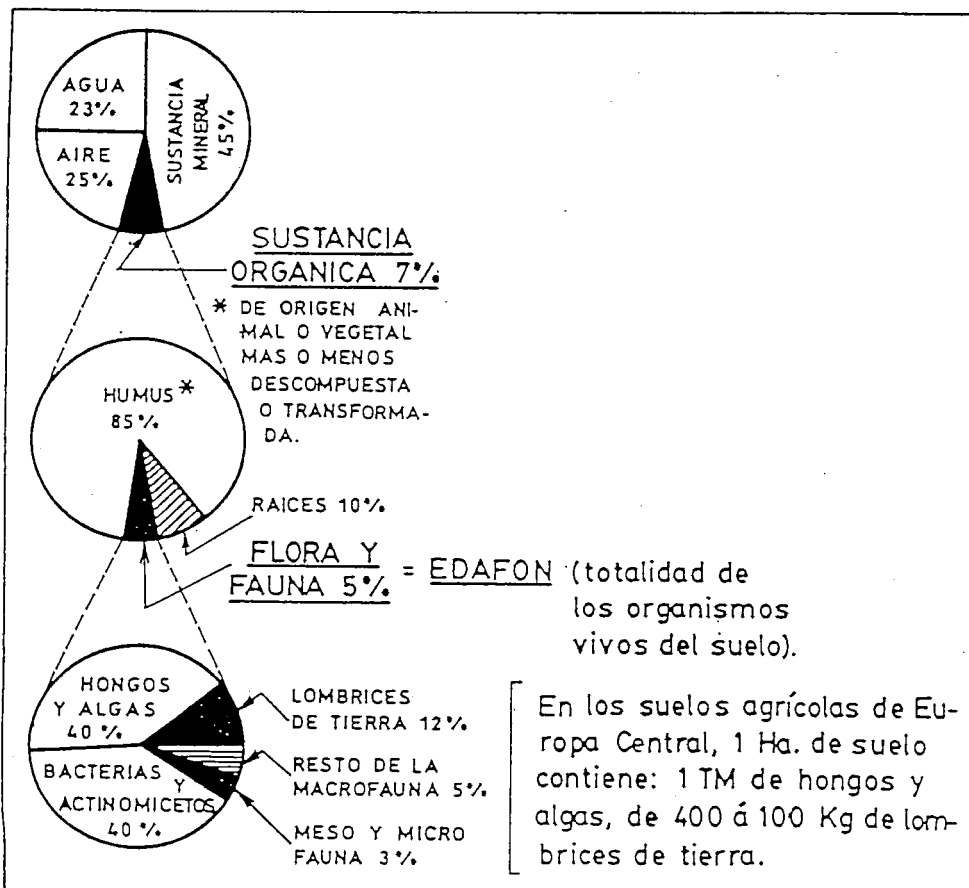
Composición del suelo de pradera en volumen porcentual (Schroeder, RFA 1989)



Composición de la materia orgánica del suelo de una pradera, % de materia seca (Tischler, RFA 1969)



Composición del suelo de pradera en volumen porcentual (Schroeder, RFA 1989)

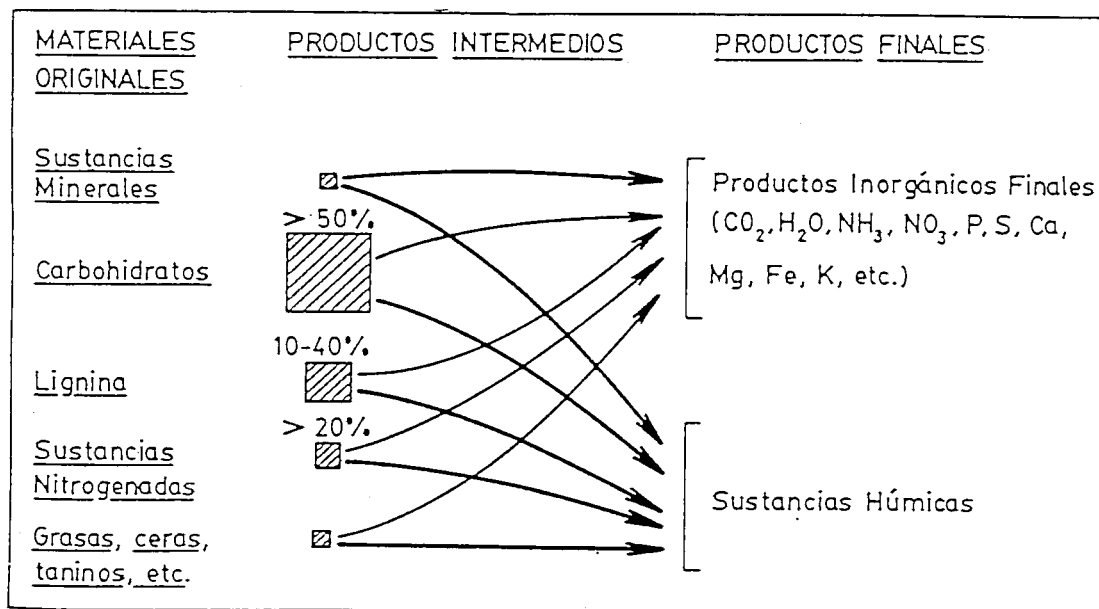


Composición de la materia orgánica del suelo de una pradera, % de materia seca (Tischler, RFA 1969)

Los hongos dan firmeza mecánica a la estructura del suelo y, en simbiosis con las raíces de las plantas aumentan el radio de acción de éstas y son fuente de energía y carbono; las algas se ubican superficialmente debido a su necesidad de luz, mediante la fotosíntesis asimilan carbono y enriquecen el suelo con oxígeno y nitrógeno.

## Mineralización y Humificación

El edafón descompone y desintegra la materia orgánica produciendo su mineralización y humificación. La desintegración microbiana conlleva a la liberación de los elementos orgánicos y su posterior transformación en productos inorgánicos (mineralización). A través del proceso de humificación (lo que aún no está esclarecido por completo) se forman las sustancias húmicas más importantes.



Mineralización y Humificación (Según: Schroeder, 1969. RFA)

## La Lombriz de Tierra

Este anélido, mediante su metabolismo y trabajo digestivo mejora la estructura del suelo, cuando construye sus galerías remueve el suelo y mezcla verticalmente las sustancias orgánicas de capa arable. Existen lombrices que perforan galerías en todas las direcciones, y en esta acción segregan una mucosa que da firmeza a las paredes de las mismas, y por lo general, son excavaciones más profundas que las realizadas por los arados, ya que algunas llegan hasta los 4m. de profundidad, con la ventaja de que no destruyen la estructura del suelo.

Se estima que, en condiciones de clima templado, una hectárea contiene alrededor de 400 Kg de lombrices, equivalente a una población de 2 a 4 millones de individuos, aproximadamente. Al construir sus galerías, contribuyen a mejorar la circulación del aire y del agua, además almacenan sus deyecciones en la superficie del

suelo, a la entrada de las galerías, en cantidades que fluctúan entre 10-90 TM/Ha/año, las mismas que contienen gran cantidad de microorganismos, y de 3 a 4 veces más nutrientes disponibles que un suelo natural. Fomentar el número de lombrices significa aumentar la capacidad productiva del suelo.

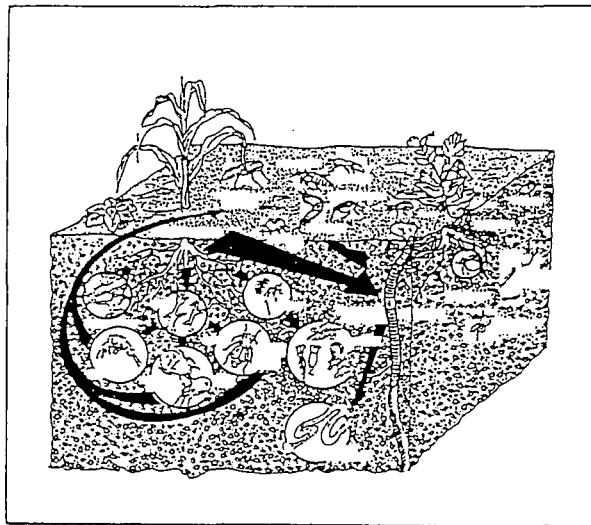
En la Sierra Central del Perú, en Huánuco a 2000 metros de altitud, se encontró alrededor de 1000 Kg/ha de lombrices, y si se relaciona con el peso de una a dos yuntas de bueyes, podemos comparar a la lombriz con un verdadero arado y esto no es ninguna exageración, pues al remover el suelo, cavar túneles, deponer sus deyecciones, entre otras, ayuda a mejorar la estructura del suelo. Sus excretas

aumentan de tres a once veces el nivel de fósforo, potasio y magnesio disponible en el suelo; elevan de cinco a diez veces el nivel de nitratos y de calcio disminuyendo la acidez de la tierra, al igual que transforman el humus moor en humus mull. Ello muestra que fomentar el desarrollo de las lombrices dentro del campo de cultivo es más importante que hacerlo fuera de él, ya que el trabajo de la lombriz es complementaria a la de otros microorganismos que aumentan su población estimuladas por las condiciones que genera

la lombriz de tierra. No basta sembrar lombrices o aplicar el humus que estas producen, es necesario fomentar el desarrollo y la acción de estos organismos mediante rotaciones y asociaciones de cultivos, uso de abonos orgánicos, abonos verdes y manteniendo el suelo cubierto.

La degradación de la materia orgánica

debe darse preferiblemente «in situ» y no fuera del campo, porque un humus casi mineralizado es biológicamente menos activo, a pesar de que pueda tener elementos de mayor disponibilidad para las plantas, pero no complementa las funciones de otros organismos en el suelo, pues nutre casi directamente a la planta sin contribuir, en mayor medida, al fomento de otros microorganismos. La lombriz *Eisenia foetida* puede ser una buena aliada, para cuando las composteras se encuentran lejos del campo o en los procesos de transición hacia la agricultura ecológica, en que se requiere una mayor disponibilidad de nutrientes, a causa de la todavía baja actividad del edafón.



## La materia orgánica

*La materia orgánica está compuesta por los residuos animales y vegetales que, en condiciones favorables, están transformados por los organismos del suelo, perdiendo su estructura original. Su comportamiento, en el suelo, está en función de las propiedades físicas y químicas existentes. Por lo tanto, la transformación de la materia orgánica está influida por las condiciones ambientales, así como por las características físicas y químicas del suelo.*

*Mediante el proceso de la transformación de la materia orgánica, se mejora la estructura del suelo porque se provee las sustancias nutritivas a las plantas e incrementa la capacidad de retención de agua.*

*Por otro lado, este también permite la agregación de las partículas del suelo, lo que mejora su estabilidad, porosidad y estructura física; de esta manera se incrementa su capacidad de infiltración y retención de agua, de forma óptima, aspecto muy importante en épocas de sequía y sobretodo, en regiones áridas.*

*La materia orgánica ayuda a mejorar las propiedades químicas del suelo y a retener los nutrientes; actúa como un «amortiguador» regulando la disponibilidad de estos, según las necesidades de las plantas. Por ejemplo, en suelos ácidos, impide la fijación del fósforo, neutraliza el efecto tóxico del aluminio. La materia orgánica es muy importante en los trópicos por su propiedad tampón o amortiguadora ("buffering") de los nutrientes. La disminución de los niveles de materia orgánica en el suelo implica la disminución de los nutrientes disponibles para las plantas.*

### La sostenibilidad de la materia orgánica

*Según el clima, el grado de vida del suelo, el tipo y cantidad de residuos, se provee de nutrientes a los cultivos en forma suficiente y permanente. Por la intensidad de los ciclos biológicos, en condiciones de trópico, un buen manejo del suelo implica la generación significativa de materia orgánica-biomasa (vegetal y animal).*

*La sostenibilidad de la fertilidad del suelo está en función de la capacidad de autogeneración de biomasa del sistema productivo. Por lo tanto, este aspecto requiere una atención prioritaria para el éxito de la agricultura ecológica.*

*Sin la materia orgánica en el suelo, los nutrientes son inalcanzables para las plantas. La materia orgánica se caracteriza por presentar, a las plantas, los nutrientes disponibles en forma ideal en cuanto a su variedad y concentración. La materia orgánica en un suelo agrícola varía de 1.5% a 4.5%, esto es unos 45 a 135 TM/Ha de materia seca.*

### **Efectos de la materia orgánica sobre la fertilidad del suelo**

*La materia orgánica aumenta la capacidad de almacenamiento del agua del suelo, mejora la porosidad de los suelos compactados, regula la aereación y la temperatura, crea una estructura granular aterronada que favorece el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas.*

*Asimismo tiene sustancias activas; aumenta la actividad biótica, es rico en microorganismos, reprime y regula el crecimiento desmesurado de las poblaciones de organismos dañinos.*

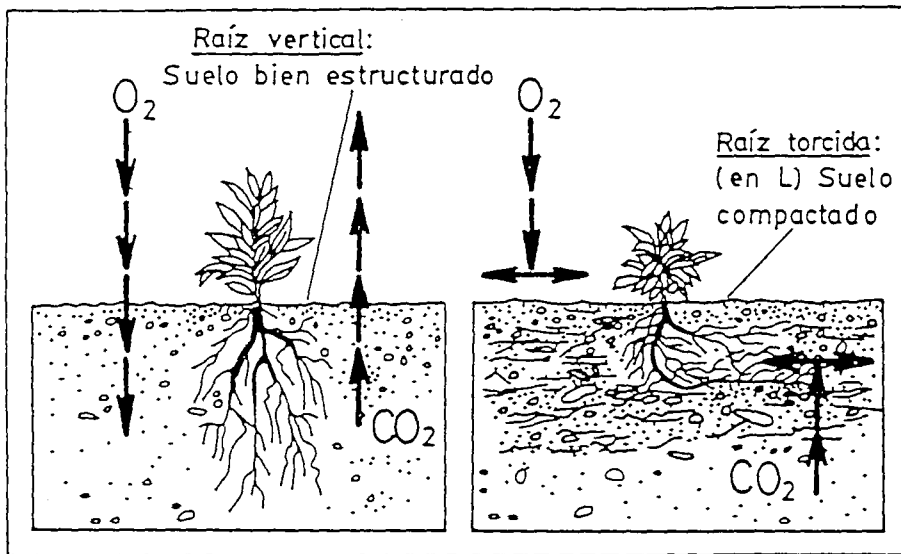
*La materia orgánica es una gran reserva de nutrientes, que es liberado poco a poco para su empleo e impide su arrastre por la erosión.*

### **El Agua del Suelo**

*El agua es un elemento indispensable para el crecimiento de las plantas; es portador de diversas sustancias nutritivas, por lo que la capacidad de retención de humedad del suelo influye en la fertilidad del mismo. Suelos con buena humificación, presentan una buena capacidad de retención y percolación; mientras que, suelos pobres en materia orgánica presentan un excesivo o mal drenaje, necesitando de mayor cantidad de agua, favoreciendo la erosión y creando además, una necesidad cada vez mayor de riego tecnificado.*

*Asimismo, los monocultivos, rotaciones y/o asociaciones de cultivos inadecuados, labranzas inapropiadas, falta de cobertura compactan el suelo, lo que limita o impide la percolación del agua que se pierde por escorrentía, junto con valioso volumen de suelo.*

*El régimen hídrico del suelo está en relación directa con el ciclo del agua a través del paisaje y la atmósfera. El uso de fertilizantes químicos (en especial los nitrogenados), herbicidas, pesticidas, y en algunos casos también el manejo inadecuado de los residuos orgánicos, la crianza intensiva al igual que los desagües, perturban el ciclo hidrológico.*



Intercambio gaseoso entre el suelo y el exterior.  
Las raíces muestran el estado del suelo.

## El Aire del Suelo

El agua comparte con el aire la porosidad que existe entre las partículas sólidas del suelo en relación inversa, es decir, al inundar el suelo, el agua desplaza al aire y cuando el suelo empieza a secarse el aire desplaza al agua. El agua es retenida con mayor energía en los microporos (0.0002-0.01 mm), mientras que el aire circula por los macroporos.

Las raíces de las plantas y los organismos aportan al aire del suelo anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) en proporciones de 1/3 y 2/3 respectivamente, este contenido varía con la estructura, tipo y profundidad del suelo. El intercambio gaseoso de anhídrido carbónico y oxígeno ( $O_2$ ) entre la atmósfera y el suelo se denomina respiración del suelo, el contenido de anhídrido carbónico en el suelo es mayor que en la atmósfera. La medida de su salida puede servir de índice de la actividad biológica del suelo, fluctuando entre 0.5-3 gr de anhídrido carbónico ( $CO_2/M^2/hora$ ). Al mismo tiempo, los organismos y las raíces toman el oxígeno ( $O_2$ ) necesario para sus funciones vitales.

El intercambio gaseoso es óptimo en suelos bien estructurados, más no en suelos compactados.

«¡CUIDADO! suelos muy ventilados oxidan rápidamente la materia orgánica; contrariamente, suelos compactados y anegados no pueden satisfacer a las plantas del oxígeno necesario».

## Los Agregados del Suelo

*Los componentes del suelo (minerales, sustancias orgánicas, agua, aire) se organizan en una variedad de formas estructurales denominados agregados, que son unidades que dependen de las partículas del suelo, de la arcilla, óxidos de hierro, carbonatos, sílice, sustancias orgánicas, etc., así como de la actividad del edafón y del clima principalmente.*

## Tipos de Estructuras del Suelo:

### Estructura de Grano simple

*La presentan los suelos arenosos pobres en materia orgánica, (los suelos arcillosos, pesados, ricos en limo y pobres en materia orgánica), así como el polvo suelto de los caminos. No existen unidades estructurales definidas. La agregación es limitada o nula en suelos con escasa materia orgánica, al igual que su poder retentivo.*

### Estructura Laminar y Prismática

*Estas estructuras se encuentran, por lo general, en suelos pesados, pobres en materia orgánica, biológicamente casi inertes. No ofrecen buenas condiciones para el desarrollo de las plantas. El suelo con estructura columnar está muy seco por exceso de aereación, mientras el de tipo laminar es muy húmedo debido a su mal drenaje.*

*La estructura prismática y columnar también puede encontrarse en algunos subsuelos arcillosos. Se desarrolla por efectos de su desecación y contracción, formándose rajaduras en el suelo.*

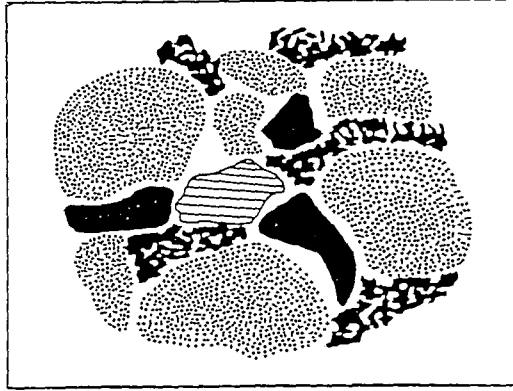
*La estructura laminar se aprecia en algunos horizontes superficiales de materiales finos, arenosos, salinos y carentes de estructura definida.*

### Estructura Granular

*Es la estructura ideal, llamada también «MIGAJON». Los agregados son partículas redondeadas, humosas y porosas de 1-10 mm de diámetro, denominándose gránulos si son mayores de 10 mm.*

*Los suelos de estructura granular son suaves y sueltos, lo que permite una adecuada movilización del aire y del agua, siendo fácilmente trabajables. Se originan en suelos ricos en materia*

orgánica, debido a la fuerte actividad del edafón sobre éste y la sustancia mineral, influyendo marcadamente en la fertilidad del suelo. La mejor estabilidad de los agregados contribuye a disminuir la erosión.



Los agregados del suelo.

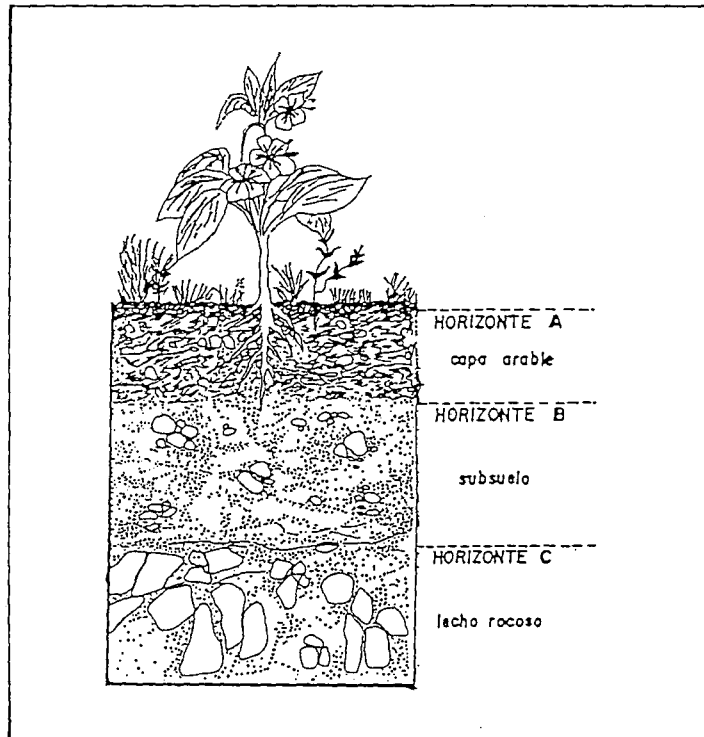
Los organismos del suelo al digerir y excretar los minerales y sustancias orgánicas, confieren mayor estabilidad (contra los impactos de agua de lluvia, aniegos, vientos u otra actividad de degradación) a los agregados conformados por compuestos orgánico-minerales, tales como: arcillas, carbonatos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas, etc. Constituyendo así el denominado «complejo arcillo-húmico», que retiene determinados iones procedentes de la solución del suelo.

El tipo de materia orgánica predominante en el suelo también influye en la estabilidad de los agregados, así como en la distribución equilibrada de agregados de diferente tamaño, condicionando una buena aereación, retentividad del agua, buen drenaje, y favoreciendo la actividad del edafón.

## Los Horizontes

Los factores de formación del suelo ocurren de forma diferente de una región a otra, originando diferentes calidades de suelo. Al hacer un corte vertical, se observa el perfil del suelo conformado por varias capas u horizontes, diferenciados entre sí claramente por el color, estructura, además de otras características originadas por los procesos de formación del suelo; por ejemplo, el agua, según su intensidad, causa la erosión y/o lixiviación del suelo.

Una calicata permite examinar los horizontes del suelo, que en un suelo agrícola común normalmente fluctúan entre tres y cuatro.



## El Perfil del Suelo

*El perfil del suelo está constituido por la sucesión de los horizontes y puede observarse al hacer un corte transversal en el mismo. Estos horizontes se diferencian en color, contenido de materia orgánica, tamaño de partículas minerales, etc., y se van denominando con letras mayúsculas.*

Horizonte A *Horizonte superficial, rico en materia orgánica, de color oscuro, de vida muy activa, con alta presencia de raíces (capa arable).*

Horizonte B *Horizonte intermedio, a menudo más compactado que el A, de coloración más clara (marrón rojizo a rojo), poca actividad biológica, con escasa presencia de raíces.*

Horizonte C *Roca no consolidada, escasa presencia de raíces, sin vida.*

*Conforme se intensifica el proceso de formación del suelo se presenta una mayor diferenciación de los horizontes.*

*Muchos suelos se caracterizan por presentar determinadas combinaciones de horizontes. Estos, cuando son superficiales son muy susceptibles a la erosión si no cuentan con un manejo apropiado que les permita lograr una buena estructura física, química y biológica. Es necesario una buena cobertura en terrenos con pendiente.*

## Clasificación de los suelos por su capacidad de uso

*Existen diversos sistemas de clasificación de suelos. La clasificación por la capacidad de uso da una mejor idea de las limitaciones que presentan los suelos para las prácticas agrícolas. Sin embargo, muchos conceptos se encuentran actualmente en revisión y para el caso específico de la zona andina se habla ahora de una clasificación en función de la delimitación de las zonas agroecológicas. Ello, principalmente debido a que gran parte de la agricultura que se desarrolla en los andes, no concuerda con los parámetros que comúnmente se dan acerca del uso del suelo.*

## La fertilidad natural del suelo

Para que un suelo rinda cosechas satisfactorias son necesarios los siguientes procesos:

1. La meteorización de la roca madre y de los minerales, transformándolos en minerales arcillosos, óxidos e hidróxidos.
2. Humificación y mineralización de la materia orgánica.
3. Formación de agregados de estructura granular debido a la mezcla de partículas minerales y orgánicas.



Considerar el suelo como un organismo vivo, ayuda a evitar la afectación del Edafón. (Foto: E. Kolmans).

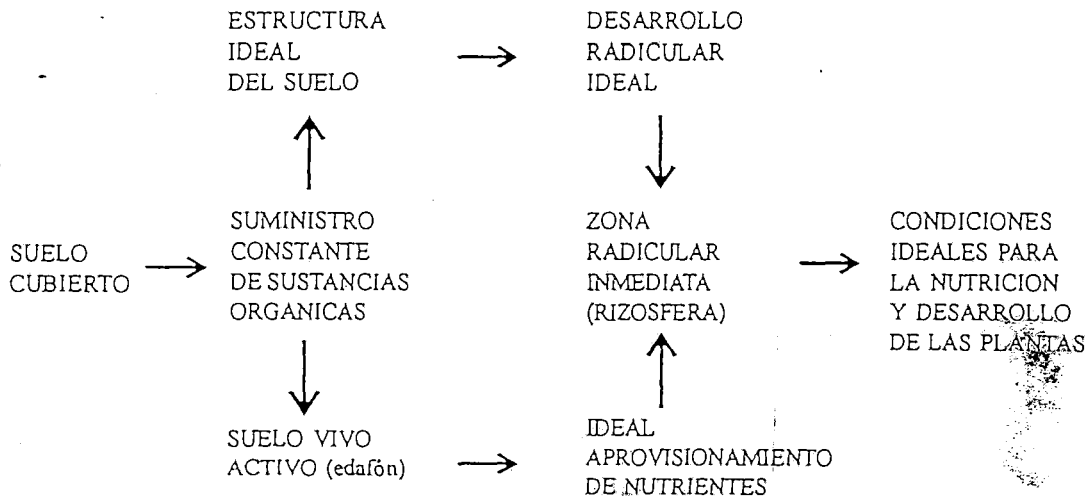
El conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo, solubilizan los nutrientes necesarios para las plantas. Las características físicas son también un indicador de la fertilidad del suelo.

Las prácticas agroecológicas evitarán todo aquello que pueda generar daño a la actividad del edafón y a la estructura del suelo, el cual, en la agricultura ecológica es considerado un organismo vivo.

A continuación algunas consideraciones:

- Renunciar al control químico de plagas, enfermedades y malezas, para permitir la activación del edafón y la resistencia fisiológica de la planta.

### Interacción entre Suelo y Planta en la Zona Radicular



- Renunciar al uso de fertilizantes sintéticos, para permitir la actividad del edafón mediante el fomento y reciclaje constante de la materia orgánica.
- Generar el suministro de materia orgánica con el mínimo uso de energía e insumos externos.
- Considerar en el manejo del suelo la actividad del edafón, como la base para lograr condiciones óptimas para el desarrollo del sistema radicular de la planta, es decir, lograr una adecuada nutrición.
- Propiciar una adecuada y óptima diversidad que garantice la eficiencia de la interacción planta-planta y suelo-planta, mediante rotaciones y asociaciones.
- Asegurar un adecuado régimen hídrico del suelo, a través de una óptima presencia de materia orgánica y cobertura vegetal.
- Considerar que, sólo la interacción óptima del conjunto de factores y procesos, puede conducir a un rendimiento integral, porque el todo es más que la suma de las partes.
- Realizar labores apropiadas en el suelo y reconocer el valor de una cobertura vegetal permanente para la conservación de la estructura del suelo y de la actividad del edafón.
- Valorar el uso del árbol y arbustos dentro de los cultivos, especialmente en los trópicos, ya que permite una mejor cobertura del suelo y aporte de materia orgánica. Los sistemas agroforestales (cultivos con árboles y arbustos) permiten un uso más eficiente del suelo.
- Respetar los ciclos e interrelaciones biológicas, para tener rendimientos superiores a los de la agricultura convencional, tradicionalmente extractiva.

- Fomentar el funcionamiento óptimo de los ciclos biológicos en base a la suficiente presencia y el buen manejo de los residuos vegetales y animales.
- Rotación y asociación de cultivos bajo el principio de la diversidad.
- Labranza y cuidado ecológicamente sano del suelo.
- Cobertura y protección del suelo.
- Uso del árbol y arbusto en la movilización de los nutrientes y de la humedad.

## El uso de cubiertas vegetales (mulch) y las lombrices de tierra

La representación de lombrices de tierra en un terreno es un indicador de la fertilidad de un terreno. El trabajo de las lombrices es "comer suelo", digerirlo y acondicionarlo. La parte superior de nuestro suelo ha sido tomado por las lombrices. Por eso, el gran sabio griego Aristóteles las llamó, "los intestinos del suelo".

Las lombrices penetran hasta dos metros dentro de la tierra, haciendo unas excavaciones que sirven de canal para que el agua penetre en el suelo.

También, las lombrices penetran las capas impermeables que a veces se forman en el interior de los suelos por la acción de fertilizantes y otras prácticas que incluye el uso de productos químicos.

Se ha logrado establecer que un terreno que ha sido trabajado por las lombrices puede absorber dos pulgadas de lluvia en unos 15 segundos debido a su consistencia y estructura porosa. Mientras que a un terreno arcilloso le tomaría alrededor de dos horas absorber las mismas dos pulgadas de lluvia.

Ahora bien, se sabe que la presencia de residuos vegetales (mulch) aumenta la presencia de las lombrices de tierra. Un terreno que permanece cubierto por residuos vegetales (mulch), es un terreno en donde vive una inmensa cantidad de lombrices de tierra. Este hecho podría ser el beneficio más grande que las coberturas ofrecen al agricultor porque las lombrices son uno de los mejores medios para construir suelos que la naturaleza nos brinda.

En un suelo que tenga condiciones físicas adecuadas, las lombrices pueden producir unas 25 toneladas de terroncitos por acre (un acre igual a .4047 de Ha). Se estima que las lombrices pueden crear o construir, en quince años, tres pulgadas de suelo nuevo a partir de estos terroncitos.

Se puede decir que estos terroncitos son el excremento de las lombrices. Las lombrices se alimentan de tierra y partes de material orgánico descompuesto que al pasar por el interior de sus cuerpos se mezcla creando un material que se considera en la forma de Humus el más fino que existe. Otro dato importante es que estos terrones que salen de las lombrices son diez veces más ricos en minerales que el material que se comieron.

Otros estudios hechos indican que en un buen suelo pueden existir una población de 1,750,000 lombrices por acre. Cada lombriz puede consumir tierra en una proporción igual a su peso por día y cincuenta lombrices pesan alrededor de una libra. Esto significa que un millón de lombrices pueden mover diez toneladas de tierra por día por acre. Todo esto sin ningún costo de mano de obra o combustible para el agricultor.

Aún después de muertas, las lombrices de tierra contribuyen a nuestro bienestar. Esto es así porque por lo menos unas 1000 libras en cuerpos muertos de lombrices de tierra se descomponen en un acre durante el año y la proteína contenida en estos cuerpos se convierten aproximadamente en cuarenta libras de nitrógeno por acre por año.

No se necesita ser un especialista para tener una buena población de lombrices. Con solo proveer una cobertura vegetal al terreno se puede aumentar la población de estos animales porque ellos se alimentan de las partes de abajo de la cobertura (o sea el material que está haciendo contacto con la superficie de la tierra) mezclándolo y combinándolo con tierra. Por eso, entre más residuo vegetal (mulch) se use sobre la superficie del terreno, mayor será el número de lombrices existentes en el terreno.

El mulch no es más que una capa o cubierta preferiblemente vegetal que se coloca sobre la superficie de la tierra para conservar la humedad, evitar el crecimiento de malezas y en última instancia para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo.

Recopilado por: José Elías Sánchez, Granja "Loma Linda".  
Tomado de: "The Basic Book of Organic Garden" edited by R. Rodale.  
Traducción: Milton Flores G.