

Conservación de los recursos naturales para una **Agricultura** sostenible

Materia orgánica y actividad biológica

Qué es y qué hace

Liberación de nutrientes de las plantas por la actividad biológica

Como la materia orgánica construye la estructura del suelo

Necesidad de alimentación continua de la biota del suelo

Conclusión

Bibliografía

Qué es y qué hace

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (disponibilidad de nutrientes). Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y los animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos.

Mediante la descomposición de los residuos y el almacenamiento del carbono dentro de su propia biomasa o mediante la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo tiene una función muy importante en los procesos de reciclaje de nutrientes y, por lo tanto, en la capacidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para cosechar un buen producto.



LÁMINA 1

Con el correr del tiempo, los residuos de los cultivos que quedan sobre la superficie del suelo serán transformados en materia orgánica.

A. J. Bot

La adición continua de residuos de plantas y otra materia orgánica por medio de su transformación por los organismos del suelo, proporciona capacidad para la autorrecuperación de la [arquitectura del suelo](#) que ha sido dañada. Las sustancias pegajosas sobre la piel de las lombrices y aquellas producidas por los hongos y bacterias ayudan a aglutinar las partículas. Los rastros dejados por las lombrices son también agregados más resistentes (compactados) que el material que circunda el suelo debido a la mezcla de la materia orgánica, el material mineral del suelo y las secreciones de las lombrices. La parte viva del suelo es responsable de mantener la disponibilidad de agua y aire, proveer nutrientes a las plantas, destruir a los agentes contaminantes y mantener la estructura del suelo. Esto contribuye a la renovación de la porosidad mediante los procesos de excavación de túneles y formación de sustancias pegajosas asociadas con la actividad biológica. Consecuentemente, el suelo puede [almacenar más agua](#) y actuar como sumidero de dióxido de carbono.

Los materiales orgánicos (residuos de plantas) encima y en la superficie del suelo pueden proporcionar el «amortiguamiento» físico contra el impacto de las gotas de lluvia y la insolación directa. La descomposición de las raíces muertas provee canales descendentes a través de los cuales el agua puede rápidamente alcanzar los niveles más bajos de la zona radical. Los mesoorganismos tales como las lombrices de tierra y las termitas (macrofauna) crean túneles y canales con el mismo resultado. Si el suelo ha sido tan mal manejado que la formación de tales macroporos es entorpecida y paralizada, el ciclo del agua dentro del ecosistema del suelo disminuye en su efectividad.

En los sistemas de agricultura convencional, si no hay suficiente tiempo y recursos para la restauración biológica completa que permitan superar los daños causados por la labranza y el pisoteo del ganado, la fertilidad del suelo declinará y, por ende, su productividad, evaluada por los rendimientos de las plantas. La restauración de la porosidad del suelo por medios mecánicos es menos satisfactoria que por medios biológicos.

Liberación de nutrientes de las plantas mediante la actividad biológica

La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales:

- la composición de los organismos del suelo
- el entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura)
- la calidad de la materia orgánica

Los organismos y las interacciones entre ellos estructuran la red alimenticia del suelo. La energía necesaria para todas las redes alimenticias es generada por los productores primarios: plantas, líquenes, musgos, bacterias fotosintéticas y algas que usan la luz del sol para transformar el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera en carbohidratos. La mayor parte de los organismos dependen de los productores primarios para obtener su energía y nutrientes: son los llamados consumidores.

Los microorganismos, tales como las bacterias, y los invertebrados grandes como las lombrices de tierra y los insectos, ayudan a descomponer los residuos de los cultivos mediante su ingestión y mezcla con el mineral madre del suelo; en el proceso reciclan energía y nutrientes de las plantas.



LÁMINA 2

Los residuos de cultivos están siendo incorporados al suelo por gusanos blancos. Si no hubiera otra alternativa podrían atacar el cultivo.
C. Pruett

La parte viva del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos tales como [bacterias](#), [hongos](#), [protozoarios](#), [nemátodos](#), [virus](#) y [algas](#). Los macroorganismos en los suelos incluyen vertebrados como los topos e invertebrados (organismos que carecen de espina dorsal y tienen un exoesqueleto). Este último grupo incluye artrópodos que varían desde ácaros hasta grandes escarabajos, milpiés, termitas y lombrices de tierra, caracoles y babosas. Son visibles a simple vista, aunque puede ser necesario un microscopio o lupa para identificar las especies.

Las [plantas](#), representadas por sus raíces y sus residuos sobre la superficie del suelo, forman la macroflora del suelo. Los diferentes grupos de organismos del suelo pueden ser clasificados de acuerdo a sus diferentes dimensiones, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Clasificación de los organismos del suelo (adaptado de Swift *et al.*, 1979)

Microorganismos	Microflora	< 5 μm	Bacterias Hongos
	Microfauna	< 100 μm	Protozoarios Nemátodos
Macroorganismos	Mesoorganismos	100 μm – 2 mm	Gusanos de primavera Ácaros
	Macroorganismos	2 – 20 mm	Lombrices Milpiés Barrenador de madera Caracoles y babosas
Plantas	Algas Raíces	10 μm >10 μm	

N. B. Las partículas de arcilla son menores de 2 μm .

Todos estos elementos tienen su propia función en los procesos de reciclaje de nutrientes.

En general, las [bacterias](#) descomponen los substratos de fácil uso, los compuestos de carbono simple tales como las exudaciones de las raíces y los residuos frescos de las plantas. Los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica. Este desecho es menos descomponible que el material original de plantas y animales, pero puede ser usado por un gran número de organismos. Algunos de estos «descomponedores» pueden descomponer incluso pesticidas y agentes contaminantes en el suelo. Son especialmente importantes en la inmovilización y retención de nutrientes en sus células y, por lo tanto, previenen la pérdida de nutrientes de la zona de las raíces.

Los [hongos](#) descomponen la materia orgánica más resistente, reteniendo en el suelo los nutrientes obtenidos bajo forma de biomasa de hongos y liberación de dióxido de carbono (CO_2). El material menos resistente es descompuesto primero mientras que el material más resistente, como la lignina y las proteínas, es descompuesto en varias etapas. Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos; por ello, los hongos ayudan a incrementar la acumulación de materia orgánica rica en ácidos húmicos, resistentes a una degradación posterior. Los descomponedores son además importantes para la descomposición de las estructuras de los anillos de carbono de algunos agentes contaminantes.

En los suelos agrícolas, los [protozoarios](#) son los mayores productores del nitrógeno disponible para las plantas. Entre el 40 y el 80 por ciento del nitrógeno de las plantas puede provenir de la interacción predator-presa de protozoarios con bacterias. El nitrógeno liberado por los protozoarios está en forma de amonio (NH_4^+) y de este modo, fácilmente disponible para las raíces de las plantas y otros organismos.

Los [nemátodos](#) tienen aún menor contenido de nitrógeno que los protozoarios, entre 10 y 100 veces menos que las bacterias o entre 5 y 50 veces menos que las hifas de los hongos. De este modo, cuando hay nemátodos que se alimentan de bacterias y hongos, el nitrógeno es liberado como (NH_4^+), haciendo que el nitrógeno esté disponible para el crecimiento de las plantas y de otros organismos del suelo.

Las [lombrices de tierra](#) promueven la actividad de los microorganismos mediante la fragmentación de la materia orgánica y el aumento del área accesible a los hongos y las bacterias. Además, estimulan el crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en los túneles (hasta cuatro veces más que el nitrógeno total en la capa superior del suelo) y a la fácil penetración de las raíces por los canales existentes.

Los trituradores mastican las hojas de las plantas, las raíces, los tallos y los troncos de los árboles en pequeños trozos que alimentan a las bacterias y hongos en la superficie. Los trituradores más abundantes son los milpiés y las termitas así como los insectos roedores, ciertos ácaros y cucarachas. Los trituradores pueden convertirse en plagas de los campos agrícolas atacando las raíces de las plantas vivas cuando no hay suficiente material vegetal muerto disponible (Moldenke, 2000)



LÁMINA 3

Los túneles formados por las lombrices de tierra crean en el suelo macroporos y canales que permiten la infiltración del agua y la circulación del aire.
FAO

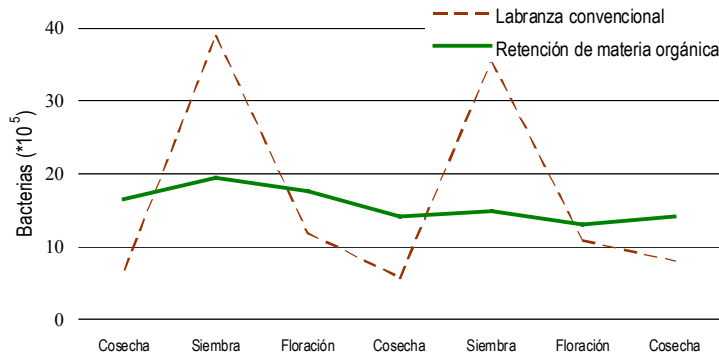
Otra importante función de los [artrópodos](#) sobre o dentro del suelo es consumir y competir con varias plagas de las plantas. Cuando está presente una población fuerte de depredadores, pueden ser controladas las plagas de las plantas. Pero una población de depredadores puede ser mantenida entre las apariciones de las plagas si además están presentes otras clases de presas; este es el caso de una red alimenticia fuerte con alta diversidad.

Los organismos dependen de sus fuentes de alimentación (las cuales a su vez dependen de la estación) y, por lo tanto, no están uniformemente distribuidas a través del suelo ni uniformemente presentes todo el año. Cada especie y grupo existen donde pueden encontrar un suministro apropiado de alimentos, espacio, nutrientes y humedad. Esas condiciones ocurren dondequiera que esté presente la materia orgánica; por lo tanto, los organismos del suelo están concentrados alrededor de las raíces, en los residuos, en el humus, en la superficie de los agregados del suelo y en los espacios entre esos agregados. Por esta razón, son más abundantes en las áreas forestales y en los sistemas de cultivos que dejan una gran cantidad de biomasa sobre la superficie del suelo.

La actividad de los organismos del suelo sigue un modelo de desarrollo estacional así como también un modelo de comportamiento cotidiano. No todos los organismos presentan actividad al mismo tiempo. La mayor parte raramente está activa o inclusive, latente. La disponibilidad de alimentos es un factor importante que influye en el nivel de actividad de los organismos del suelo y, por ende, está relacionado con el uso y manejo de la tierra.

FIGURA 1

Grandes fluctuaciones de biomasa microbiana en diferentes etapas de desarrollo de los cultivos en la agricultura convencional, comparadas con sistemas de retención de residuos y alto insumo de materia orgánica (Balota, 1996)

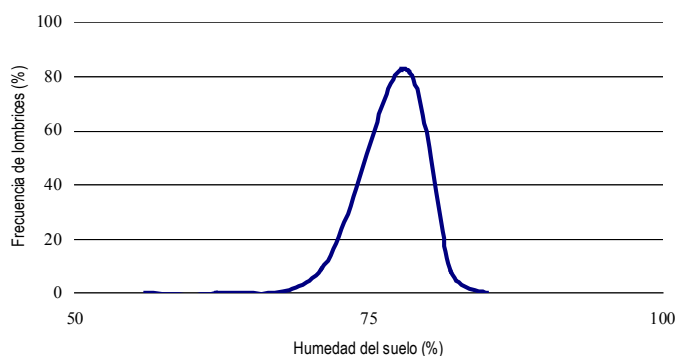


La descomposición de la materia orgánica y la liberación del carbono son procesos aeróbicos, lo que significa que los microorganismos necesitan oxígeno y, por lo tanto:

- los residuos sobre la superficie del suelo generan un ciclo del carbono más lento debido a que están expuestos a menos microorganismos y entonces estos decaen más lentamente dando lugar a la producción de humus que es más estable y libera menos dióxido de carbono a la atmósfera
- cuando se ara los residuos son incorporados en el suelo junto con el aire y se ponen en contacto con muchos microorganismos lo cual acelera [el ciclo del carbono](#). La descomposición es más rápida, lo que trae como resultado menos formación de humus estable y liberación del dióxido de carbono a la atmósfera y, por lo tanto, una reducción de la materia orgánica.

FIGURA 2

Efecto de la humedad del suelo sobre la ocurrencia de lombrices de tierra (Gassen y Gassen, 1996)



La humedad del suelo es uno de los factores más importantes para la presencia de lombrices de tierra en el suelo. Al conservar la cobertura del suelo se reduce la evaporación y aumenta la materia orgánica en el suelo, lo cual a su vez permite conservar más agua. La Figura 2 muestra la población de las lombrices de tierra a diferentes niveles de humedad. Las condiciones de vida óptimas se encuentran cuando la humedad del suelo está entre 78 y 80 por ciento.

Como se discute en otro módulo, la Agricultura de Conservación crea las condiciones óptimas para el almacenamiento de la humedad del suelo (Módulo Humedad del Suelo).

La conservación de los residuos sobre la superficie del suelo no solo proporciona abundantes alimentos sino que también lo protege de la insolación directa, lo cual, a su vez, regula la [temperatura del suelo](#). Las altas temperaturas afectan adversamente el crecimiento y desarrollo tanto de la población de organismos del suelo como el crecimiento de las raíces.

Dependiendo de la composición química de los residuos de los cultivos y la materia orgánica, la descomposición es rápida (azúcares, almidones y proteínas), lenta (celulosa, grasas, ceras y resinas) o muy lenta (lignina).

Los escenarios más atractivos para el incremento del número y actividad de los organismos del suelo incluyen la labranza cero o reducida con retención del rastrojo, lo que proporciona la mínima alteración de los túneles y canales con un suministro de alimentos casi continuo.

La fracción activa o de fácil descomposición de la materia orgánica del suelo es el principal suministro de alimentos para varios organismos vivos del suelo. La fracción activa es fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, el estado de humedad del suelo, la etapa de desarrollo de la vegetación, la adición de residuos orgánicos y las prácticas culturales como la labranza.

Entre el 35 y 55 por ciento de la parte no viviente de la materia orgánica es el *humus*. Es un importante amortiguador que reduce las fluctuaciones de la acidez del suelo y de la disponibilidad de nutrientes. Comparadas con las moléculas orgánicas simples, las sustancias húmicas son voluminosas, de alto peso molecular y muy complejas. Las características de la parte bien descompuesta de la materia orgánica, o sea el humus, son muy diferentes a las de las moléculas orgánicas simples. Si bien existen muchos conocimientos acerca de su composición química general, el valor relativo de varios tipos de materiales húmicos para el crecimiento de las plantas no está aún claramente establecido.

Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares, algo más largo que anchos, con un tamaño promedio de 1 μm . Su tamaño reducido es suplido por su número. Frecuentemente viven en colonias de miles o millones de individuos, todos de la misma especie. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como adhesivos que permiten que las partículas del suelo se unan.

Pueden ser distinguidos seis tipos funcionales, a saber:

- descomponedores
- mutualistas : simbioses con las plantas
- patógenos
- quimioautotróficos
- cianobacterias
- actinomicetos

El grupo más grande de bacterias está formado por los descomponedores. El segundo grupo, las mutualistas, forma asociaciones con las plantas. La asociación en la que existe un mutuo beneficio es llamada simbiosis. Uno de los grupos de bacterias más conocidas que comprende los fijadores de nitrógeno son los *Rhizobium*. Cuando las barbas absorbentes de una raíz entran en contacto con una de estas bacterias, la barba se ensortija y las paredes de la célula se disuelven bajo la influencia de las enzimas formando un nódulo. Una vez dentro del nódulo la bacteria

obtiene los nutrientes necesarios (compuestos del carbono) y el oxígeno de la planta hospedera; a su vez la planta hospedera recibe compuestos nitrogenados producidos por la bacteria a partir del nitrógeno gaseoso de la atmósfera del suelo. Este proceso es llamado fijación simbiótica del nitrógeno. Cuando las raíces de la planta hospedera se descomponen los compuestos nitrogenados quedan disponibles para otros microorganismos y plantas

El tercer grupo, los patógenos, son principalmente bacterias anaeróbicas (no necesitan oxígeno) que causan daño a las raíces de las plantas. Las bacterias por si mismas no son perjudiciales pero sus desechos son nocivos para las plantas. Algunas bacterias de este grupo pueden ser beneficiosas para el crecimiento de las plantas cuando hay suficiente oxígeno en el suelo. Sin embargo, producen alcoholes y ácidos orgánicos que perjudican a la planta cuando falta oxígeno.

Los quimioautotróficos obtienen su energía para el crecimiento y desarrollo de otros elementos químicos tales como nitrógeno, azufre, hierro o hidrógeno en lugar de obtenerlo de los compuestos del carbono. Algunas de estas bacterias (nitrosomonas y nitrobacterias) son importantes para el proceso de la nitrificación en el cual el amonio se convierte en nitratos y, en una etapa posterior, en la denitrificación del nitrato en óxido nitroso y gas nitrógeno. Además son muy importantes para la degradación de los agentes contaminantes.



LÁMINA 4

Infección característica de las raíces de leguminosas con bacterias del género *Rhizobium*

Las cianobacterias, que por mucho tiempo fueron consideradas «algas azul-verdes», constituyen un grupo especial. Son fotosintéticas y, por lo tanto, viven en la superficie del suelo. Tienen una función vital en la aglutinación del suelo en las zonas desérticas. En general, las cianobacterias son los primeros organismos que infectan los residuos bajo condiciones difíciles o en sedimentos frescos y forman las llamadas costras microfíticas. Estas bacterias fijan el carbono y el nitrógeno atmosféricos, producen pequeñas cantidades de materia orgánica y, por lo tanto, inician los procesos de reciclaje del nitrógeno y el carbono en el suelo. En el transcurso de pocos años son unidas por musgos, líquenes y otras plantas primitivas. Estos organismos inhiben la formación de costras minerales; la cementación de las partículas del suelo evitaría la infiltración del agua y aumentaría la escorrentía.

Los actinomicetos son bacterias responsables del característico olor mohoso rancio del suelo y el composte. Al igual que los hongos, forman hifas. Descomponen una amplia variedad de substratos orgánicos pero, más importante aún, es que a altos niveles de pH descomponen los compuestos más complejos como la quitina (presente en el exoesqueleto de los artrópodos) y la celulosa. Los hongos degradan estos elementos a bajos niveles de pH. Además, al descomponer la materia orgánica, algunos actinomicetos como los del género *Streptomyces* producen varios antibióticos.

Dado que las bacterias se alimentan de compuestos orgánicos como azúcares y proteínas, se concentran en los residuos verdes de las plantas jóvenes y en la rizósfera (el área alrededor de

las raíces) donde se alimentan de células muertas y sustancias orgánicas liberadas por las raíces (exudados).

Hongos

Los hongos son organismos microscópicos que crecen en forma de hilos largos o hifas, las cuales a veces se agrupan en conglomerados llamados micelios o estructuras gruesas similares a raíces. Los hongos más conocidos son aquellos que producen estructuras fructíferas, las setas o champiñones. Algunos hongos como las levaduras cumplen servicios importantes en la producción de alimentos para el ser humano. Los miles de especies activas en el suelo, pero que no son visibles, realizan funciones que son tan importantes como las de las levaduras. Los hongos son organismos aeróbicos y mueren cuando un suelo se convierte en anaeróbico, por ejemplo, en el caso de inundaciones o compactación del suelo.

Como las bacterias, los hongos pueden ser divididos en diferentes grupos de acuerdo a sus fuentes de energía (Ingham, 2000):

- descomponedores
- mutualistas
- patógenos y parásitos

Los descomponedores de lignina tienen actividad alrededor del tejido leñoso de la planta.

La mayoría de las raíces de las plantas están infectadas con [micorrizas](#) u [hongos mutualistas](#). Estos hongos forman un red de hilos del micelio en las raíces de las plantas y árboles y se expanden en la superficie de las raíces. Obtienen carbono de la planta y en cambio obtienen nutrientes tales como fósforo, nitrógeno, micronutrientes y agua. Esta asociación simbiótica extiende el sistema de raíces de la planta. El beneficio potencial de una efectiva asociación incluye la protección contra algunos patógenos de las raíces, aumenta la tolerancia a las enfermedades, la tolerancia a la sequía y reduce los problemas de toxicidad y alta temperatura del suelo.



LÁMINA 5

Las raíces de muchas plantas tienen una asociación simbiótica con micorrizas las cuales les proporcionan una mayor superficie radical.

R. Derpsch

El tercer grupo, los patógenos o parásitos, reducen la producción o causan la muerte de los hospedantes cuando colonizan las raíces u otros organismos. Los hongos del suelo como *Pythium*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* causan serias enfermedades a las plantas que resultan en pérdidas económicas de la agricultura. Todos estos hongos prefieren substratos orgánicos simples exudados por las raíces de las plantas.

Sin embargo, no todos los hongos de este grupo son dañinos. Algunas especies compiten por alimentos o espacio con organismos que causan enfermedades y, por lo tanto, reducen la incidencia de las enfermedades. Algunos hongos beneficiosos producen antibióticos u otros compuestos inhibidores mientras que otras especies como *Trichoderma* o *Gliocladium* parasitan hongos causantes de enfermedades. Algunos hongos atrapan nemátodos parásitos de las raíces mientras que otros se alimentan con insectos.

Micorrizas

Las micorrizas pueden ser divididas en dos grupos:

- ectomicorrizas
- endomicorrizas

Las hifas de las ectomicorrizas forman una densa cubierta en la parte exterior de las raíces. Algunas hifas penetran y crecen entre las células corticales de la raíz. No entran a las células y, por lo general, no penetran más allá de la corteza. Las coberturas de las hifas a menudo son visibles a simple vista. Este tipo de micorriza está asociada a los árboles.

Las endomicorrizas están localizadas entre y dentro las células corticales de la raíz y no producen una cobertura de hifas alrededor de la raíz. Algunas son llamadas micorrizas vesiculares-arbusculares:

- los arbusculos están considerados como el sitio donde ocurre el intercambio de nutrientes entre hongos y plantas
- las vesículas son los órganos de almacenamiento en el extremo de la hifa

Las micorrizas protegen a las plantas mediante algunos mecanismos particulares (Linderman, 1994):

- la secreción de antibióticos inhibidores de patógenos
- las láminas de cobertura que actúan como una barrera física a la penetración
- utilizan los excesos de nutrientes en la raíz, reduciendo de este modo los nutrientes disponibles para los patógenos
- las láminas de cobertura sirven de apoyo a la población microbiana protectora de la rizósfera

Las micorrizas crecen en las raíces jóvenes ya que en las raíces más viejas la corteza ha caído. Las raíces finas son los lugares primarios de desarrollo de las micorrizas dado que son los lugares más activos de absorción de nutrientes.

Las micorrizas también mejoran la estructura del suelo uniendo sus partículas en agregados más estables por medio de sus hifas. Las hifas unen las partículas simples de las arcillas en agregados mayores, posibilitando de este modo que llegue más oxígeno a la zona radical. Esto promueve la rápida multiplicación de bacterias aeróbicas benéficas que pueden fijar nitrógeno, solubilizar fósforo y procesar otros elementos en formas utilizables para las plantas. Como los hongos son también organismos aeróbicos, convierten la arcilla del suelo en una estructura granular lo que mejora su propio abastecimiento de oxígeno. Las hifas de los hongos también unen la arena, la

cual mejora su capacidad de retención de agua disponible para las raíces de las plantas y las bacterias.

La mayoría de los árboles y cultivos agrícolas dependen de las micorrizas y de los beneficios que estas producen. Sin embargo, algunas plantas no forman asociaciones de micorrizas tales como el lupino y algunas especies de la familia de las Crucíferas (mostaza, rábano aceitero, brócoli) (Ingham, 2000). El Cuadro 2 presenta las relaciones entre los hongos vesiculares-arbusculares (MVA) y algunas especies de plantas.

Cuadro 2 Relaciones entre algunas plantas y hongos MVA

Alta dependencia	Baja dependencia	No hospederas
Frijoles, arvejas y otras leguminosas Lino Girasol Maíz y otros cereales de verano Papas y otras raíces La mayoría de las plantas y árboles tropicales	Trigo y otros cereales	Canola, mostaza y <i>Brassica</i> spp. Lupino

Protozoarios

Los protozoarios son organismos unicelulares, muy móviles, varias veces mayores que las bacterias (5-100 μm). Son predadores y se alimentan de bacterias, otros protozoarios y algunas veces de hongos, aunque pueden también alimentarse de materia orgánica soluble. Como que los protozoarios requieren de 5 a 10 veces menos nitrógeno que las bacterias, cuando un protozoario se alimenta de una bacteria, libera nitrógeno. El nitrógeno liberado queda disponible para su absorción por las plantas.

Se pueden distinguir tres grupos de protozoarios, clasificados en base a su forma:

- ciliados
- amibas
- flagelados

Los ciliados son los protozoarios más grandes y los menos numerosos. Se mueven por medio de estructuras similares a pelos (cilias) ubicadas a lo largo de su cuerpo. Se alimentan de otros tipos de protozoarios y de bacterias, especialmente de bacterias anaeróbicas y, por lo tanto, su número es alto en suelos compactados.

Las amibas son también grandes y se mueven por medio de pies temporales o pseudópodos. Un grupo de amibas se alimenta de hongos, incluyendo hongos causantes de enfermedades, de la misma forma en que los vampiros se alimentan de sus víctimas. Después de horadar las paredes de las células de la hifa, la amiba succiona las células secas del hongo.

Los flagelados son los protozoarios más pequeños y se mueven por medio de un movimiento de empujar-estirar generado por uno o dos apéndices similares a látigos (flagelos).

Al igual que los protozoarios, se alimentan principalmente de bacterias y son particularmente activos en la rizósfera donde se encuentra la más alta concentración de bacterias. Necesitan humedad para moverse, por lo que el contenido de agua del suelo determinará el tipo de protozoario activo. En general, los protozoarios más pequeños (flagelados y amibas desnudas) dominan en los suelos arcillosos, mientras que los suelos arenosos contienen flagelados, amibas y ciliados más grandes.

Otra función de los protozoarios es regular la población de bacterias. Al alimentarse de bacterias se estimula su crecimiento y, por lo tanto, la tasa de descomposición de la materia orgánica en el suelo. Además, los protozoarios son una importante fuente de alimento para otros organismos del suelo.

Nemátodos

Los nemátodos son minúsculos animales unicelulares, similares a lombrices, que viven en los laberintos de los poros del suelo. Se mueven en las películas de agua que se adhieren a las partículas de suelo. Los más grandes, que son difícilmente visibles a simple vista, tienen 50 μm de diámetro y 1 mm de longitud. Tienen una importante función en la mayor parte de los procesos del suelo, desde la descomposición de los residuos hasta la patología de las plantas. Si bien son considerados generalmente como plagas de la agricultura, la mayoría de las especies son beneficiosas; sin embargo, hay escasos conocimientos acerca de los mismos. Los nemátodos beneficiosos se alimentan de bacterias, hongos y otros nemátodos. Las pocas especies que provocan enfermedades a las plantas han recibido mayor atención.

En base a su fuente de alimentación los nemátodos pueden ser divididos en cinco grupos, a saber:

- se alimentan de bacterias
- se alimentan de hongos
- predadores
- omnívoros
- se alimentan de raíces

Los nemátodos predadores se alimentan de todos los tipos de nemátodos y protozoarios. Los más pequeños son ingeridos completamente y los más grandes son heridos hasta que pueden ser extraídas las partes internas.

Los nemátodos omnívoros forman un grupo que puede tener una dieta diferente en cada etapa de su vida (Ingham, 2000).

Los nemátodos que se alimentan de raíces no viven libremente en el suelo sino que están adosados a las raíces. Este es probablemente el grupo más conocido debido a que causan enfermedades en las raíces de las plantas. Los principales nemátodos parásitos de las plantas incluyen aquellos que forman nudosidades en las raíces, los nemátodos de quiste, los nemátodos con aguijón y los nemátodos que lesionan las raíces o de pradera (Yepsen, 1984).

Cuando los nemátodos que se alimentan de bacterias, de hongos y predadores están presentes en cantidades favorables, los que se alimentan de raíces tienen dificultad para establecerse y su presencia es escasa.

Además de la liberación de los nutrientes de las plantas, los nemátodos ayudan a distribuir las bacterias y hongos a través del suelo y a lo largo de las raíces, llevando microorganismos vivos o latentes en su superficie y en su aparato digestivo. Los nemátodos son comidos por otros predadores, tales como nemátodos predadores, microartrópodos e insectos. Algunos hongos también atacan a los nemátodos.

Al igual que los otros organismos, los nemátodos están concentrados cerca de sus fuentes de alimentación. Esto significa que los que se alimentan de bacterias están concentrados en la zona de las raíces, donde existe la más alta concentración de bacterias. Los que se alimentan de hongos se encuentran cerca de la biomasa de hongos, los que se alimentan de raíces se

concentran cerca de las plantas en condiciones de estrés y los nemátodos predadores son más propensos a encontrarse en suelos con gran cantidad de nemátodos y protozoarios.

Lombrices de tierra

En todo el mundo hay descritas 3 670 especies de lombrices de tierra (Fragoso *et al.*, 1999), aunque se supone que el número podría ser el doble. Varían en longitud de 5 a 90 cm (Edwards, 2000). Mediante sus actividades, las lombrices de tierra ingieren suelo y mezclan material de las plantas dentro del suelo. Pasando el suelo a través de sus cuerpos, las lombrices digieren los hongos, los protozoarios, los nemátodos y los microartrópodos. Además, el material orgánico es fragmentado y mezclado con el mucus o secreción producida en sus intestinos e inoculado con microorganismos. La actividad de los microorganismos es favorecida por el efecto desencadenante de esta mezcla y un mayor número es encontrado en las heces y rastros de las lombrices, comparado con la materia orgánica antes de su consumo. Estos microorganismos continúan su actividad en rastros frescos y aportan alimentos a otros microorganismos y, por lo tanto, facilitan el reciclaje de los nutrientes.

De acuerdo con Bouché (1972) se pueden distinguir tres grupos de lombrices de tierra en base a su tipo alimentario y a la excavación de sus túneles: lombrices epigeas, lombrices endogeas y lombrices anécicas.

Las lombrices epigeas viven en las capas superficiales del suelo y se alimentan de residuos vegetales sin descomponer. Son por lo general pequeñas y se reproducen rápidamente. Están bien adaptadas a los cambios de humedad y temperatura que tienen lugar en la superficie del suelo.

Las especies endogeas se alimentan debajo de la superficie del suelo, en galerías horizontales interconectadas. Ingieren grandes cantidades de suelo, preferentemente de suelos ricos en materia orgánica. Las lombrices endogeas pueden tener un mayor impacto en la descomposición de la capa vegetal superficial, sus galerías no son permanentes, pero se llenan constantemente con sus residuos; hay tres grupos de lombrices endogeas clasificados en base a la calidad de la materia orgánica ingerida. (Lavelle *et al.*, 1981): oligo-, meso- y polihúmicas para baja, media y alta calidad de la materia orgánica, respectivamente.

Las lombrices anécicas construyen galerías verticales permanentes y profundas, a veces de algunos metros. Este tipo de lombrices sube a la superficie para alimentarse de estiércol, hojas secas y otros materiales orgánicos; en algunos casos estas lombrices ingieren los rastros de otras lombrices de tierra superficiales (Mariani *et al.*, 2001). Tienen un profundo efecto sobre la descomposición de la materia orgánica y sobre la formación del suelo.

Artrópodos

Los artrópodos son organismos que tienen uniones (artro) en las patas (podas). Incluyen no solo a los insectos (escarabajos, hormigas, termitas) sino también a los arácnidos (arañas, ácaros), los crustáceos (cochinilla de tierra), los ciempiés y milpiés y los escorpiones. Todos ellos cumplen varias funciones en el ecosistema del suelo. Basados en sus funciones y hábitos alimenticios pueden dividirse en trituradores, predadores, hervíboros y fungívoros.

Los predadores pueden ser generalistas, o sea que se alimentan de muchos organismos diferentes, o especialistas, o sea que capturan solo unas pocas especies (Evans, 1984). Incluyen hormigas, ciertos ácaros, arañas, ciempiés, escarabajos y escorpiones. Muchos predadores comen plagas de cultivos y algunos son usados como agentes de control biológico tales como varias avispas parásitas.

Los herbívoros del suelo son por lo general insectos que pasan parte de su vida en el suelo y se alimentan con raíces. Algunos herbívoros cuando aparecen en grandes cantidades y la población no es controlada por otros organismos atacan otras partes de la planta; incluyen las chicharras, los grillos, la lombriz de raíz y las larvas de algunos escarabajos (gusano blanco),



LÁMINA 6

Los gusanos blancos, una de las plagas más temidas de los cultivos, en un enfoque ecológico pueden convertirse en un amigo del agricultor.

Los artrópodos fungívoros y algunos ácaros y pececitos de plata, roen y consumen hongos y hasta bacterias diminutas, fuera de la superficie de las raíces. Esto estimula el crecimiento de estas bacterias y hongos y, por ende, es favorecida la razón de descomposición de la materia orgánica.

Mediante la reducción en tamaño de la materia orgánica los artrópodos facilitan la búsqueda de alimentos en las nuevas superficies. Los artrópodos pueden aumentar la razón de descomposición de dos hasta 100 veces, pero si las bacterias y hongos son escasos, esa razón de multiplicación no se incrementará. Sin embargo, en muchos casos los artrópodos llevan consigo inoculantes de bacterias y hongos para asegurar que sus tipos preferidos de presas sean inoculadas en las superficies recientemente expuestas. Los artrópodos se alimentan de esas bacterias y los hongos y dado que la razón C/N de los artrópodos es 100 veces superior a la de las bacterias y hongos, liberan nitrógeno que queda a disposición de las plantas.

Algunos estudios ecológicos sugieren que en el ambiente tropical las termitas cumplen una función similar a la que realizan las lombrices de tierra en las regiones templadas. Las termitas de importancia para la agricultura viven en el suelo y construyen cúmulos y túneles. Algunas especies se alimentan de hojas, semillas o raíces, pero la mayoría de las especies consumen materia orgánica. Se alimentan de celulosa y aceleran la descomposición de la materia orgánica y la formación de humus y, por lo tanto, tienen una función importante en el reciclaje de los nutrientes.

La apertura de canales en el suelo, el enterrado de la materia orgánica y la concentración de nutrientes y de la materia orgánica en los cúmulos de termitas es varias veces mayor que en el terreno circundante (Tabla 3) por lo que se consideran muy útiles para la agricultura.

Tabla 3 Contenido de nutrientes de los cúmulos de termitas (*Cornitermes cumulans*) comparado con el suelo circundante (Gassen, 1999).

Elemento	Suelo	Fuera del cúmulo	Centro del cúmulo
Potasio (ppm)	62	180	>200
Fósforo (ppm)	0,5	2,5	10,3
Calcio (me)	0,6	4,6	12,1
Materia orgánica (%)	4,4	6,8	>9,4

Los insectos del género *Bothynus* cavan canales de hasta 100 cm. Durante el verano y el otoño sus larvas recolectan y transportan residuos dentro de esos canales los cuales son consumidos posteriormente. Estas especies no se alimentan de las plantas, inclusive cuando no hay residuos en el suelo. Como en el caso de las lombrices de tierra, los excrementos quedan en amplios espacios en el extremo de los canales y, consecuentemente, esas áreas tienen un alto contenido de nutrientes y materia orgánica y tienen un pH más alto que el suelo circundante (Cuadro 4).

Cuadro 4 Contenido de nutrientes y acidez de las cámaras de *Bothynus* spp. comparado con el suelo circundante (Gassen, 1999)

Profundidad del suelo (cm)	Materia orgánica (%)	pH	Al (me/kg)	Ca (me/kg)	Mg (me/kg)	P (ppm)	K (ppm)
0-5	5,8	5,1	1,8	57	22	8,9	>200
5-10	3,8	5,2	1,7	55	20	8,5	164
10-15	3,3	4,9	4,9	22	12	1,4	162
15-20	2,7	4,8	5,1	12	07	1,2	104
20-25	2,4	4,8	4,8	10	07	0,7	84
25-30	2,2	4,8	4,3	10	06	0,5	66

Además de la influencia positiva del reciclaje de nutrientes, el comportamiento alimentario de los artrópodos es importante para la formación de los agregados del suelo. En la mayoría de los suelos, cada partícula de su parte superior ha pasado a través de los intestinos de la numerosa fauna, donde es mezclada con sustancias orgánicas. Los agregados del suelo de 2,5 Mm a 2,5 mm son gránulos fecales de la fauna del suelo.

La abundancia y diversidad de la fauna del suelo disminuye con la profundidad y, como regla general, el tamaño de los artrópodos también disminuye. Los organismos más grandes son activos sobre la superficie del suelo en la capa del rastrojo. Los organismos que residen en las capas de suelo más profundas a menudo carecen de pigmentación y de vista y su tamaño les permite escurrirse a través de los microporos del suelo.

Raíces de plantas y algas

Las raíces de las plantas y las algas representan la flora en el suelo. Las plantas y las algas son los productores primarios que a través de la fotosíntesis, con la energía del sol, convierten el CO₂ del aire y el agua del aire y el suelo en carbohidratos disponibles para otros organismos.

Las raíces están influenciadas por el suelo en que viven. Cuando el suelo está compactado o tiene bajo contenido de nutrientes o el agua es limitada o hay otros problemas, las plantas no crecerán bien. Además, las plantas también influyen sobre el suelo en que crecen. La presión física de las raíces creciendo a través del suelo ayuda a formar agregados con las partículas vecinas. Cuando el material vegetativo es devuelto al suelo, se convertirá en la fuente primaria de alimento para las bacterias y los hongos.

Las raíces de las plantas además crean un ecosistema distinto que puede tener una profunda influencia en el crecimiento de las plantas. Este ecosistema, a menudo olvidado, es la rizósfera en la parte externa de la raíz y su área circundante inmediata (Lynch, 1988).

Un gran número de microorganismos, principalmente bacterias y protozoarios, están concentrados alrededor de la superficie de las raíces de las plantas. Son atraídos a la superficie de las raíces gracias a los compuestos de carbono exudados por las raíces vivas, los cuales son fuente vital de alimento y energía para las bacterias. Estos compuestos llamados exudados o secreciones radicales pueden ser diferenciados en tres grupos (Jackson, 1993), a saber:

- *mucigel*, un material gelatinoso, mezcla de polisacáridos, proteínas, lípidos, vitaminas, y fitohormonas que rodean especialmente el extremo de las raíces

- una variedad de *ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares simples* excretados por las raicillas de las plantas
- *sustancias celulares orgánicas* producidas por la senescencia de la epidermis radical

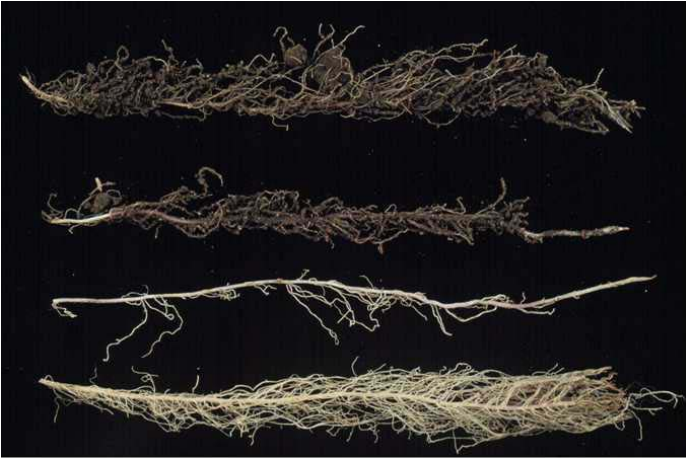


LÁMINA 7

Las raíces de las plantas exploran el suelo en busca de nutrientes. Las raíces de las diferentes especies usan distintas capas de suelo para extraer los nutrientes y de este modo crean distintos ecosistemas a diferentes profundidades de suelo.

J. Clapperton

Los microorganismos que habitan en la zona de la rizósfera son una mezcla de organismos benéficos, neutros y dañinos, si bien la mayoría son benéficos. Los microorganismos en la rizósfera extraen nutrientes y energía de la raíz y de sus productos. En cambio, los microorganismos liberan nutrientes de las plantas para la absorción directa por las raíces y algunos de los productos desechos de los microorganismos son reguladores del crecimiento de las plantas. El conjunto de compuestos alrededor de las raíces es grande y variado: la mezcla depende de la especie vegetal, su edad y las condiciones del entorno. El reciclaje del carbono en el ecosistema depende en gran parte de la deposición de los compuestos en un proceso que es severamente influenciado por los factores ambientales.

Como la materia orgánica forma la estructura del suelo

Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo varios compuestos orgánicos se descomponen. La descomposición es un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica de las moléculas de los complejos orgánicos de los materiales muertos se convierten en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998).

Los residuos de los cultivos contienen principalmente compuestos complejos de carbono que se originan en las paredes celulares. Estas cadenas de carbono, con cantidades variables de oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre adjuntos, son las bases para los azúcares simples y los aminoácidos.

La descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada resulta en la formación de una materia orgánica más compleja llamada *humus*. El humus afecta las propiedades del suelo y su color que se vuelve más oscuro; incrementa la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición.

El humus está formado por [sustancias húmicas complejas](#) (ácido húmico y huminas, ácidos fúlvicos) que permanecen en el suelo después de la descomposición de los residuos.

El humus también cumple una función importante en la estructura del suelo. Sin humus los suelos con altos contenidos de limo o arcilla se compactarían fácilmente al ser labrados. Los polisacáridos son las sustancias que realmente unen las partículas de suelo; la materia orgánica más resistente mantiene unidos los microagregados mientras que los ácidos fúlvicos ligan los macroagregados. Los azúcares, los aminoácidos y los fosfolípidos son las fuentes de nitrógeno, fósforo y azufre para los microorganismos y el crecimiento de las plantas.

La actividad de excavación de las lombrices aporta canales para la entrada de aire y el paso del agua, lo cual tiene un importante efecto sobre la difusión del oxígeno en la zona radical y en el drenaje. Las lombrices de tierra que habitan en las raíces crean numerosos canales a lo largo y a lo ancho de la superficie del suelo, cuando los residuos son conservados en la superficie del suelo incrementando la porosidad general. Los canales largos verticales creados por las lombrices que excavan en profundidad contribuyen a incrementar sensiblemente la infiltración del agua bajo condiciones de intensas lluvias o en condiciones de suelos saturados. Las lombrices mejoran la agregación del suelo.

Sustancias no-húmicas: significado y función

Las sustancias no-húmicas son moléculas orgánicas directamente liberadas desde células de residuos frescos tales como proteínas, aminoácidos, azúcares y almidones; son parte de la materia orgánica.

Hay muchos tipos diferentes de moléculas orgánicas en el suelo. Algunas son simples moléculas que provienen directamente de plantas u otros organismos vivos. Estos productos químicos relativamente simples como los azúcares, los aminoácidos y la celulosa son fácilmente consumidos por muchos organismos. Por esta razón no permanecen en el suelo por largo tiempo. Otros productos químicos tales como las resinas y las ceras también provienen de las plantas pero son más difíciles de descomponer por los organismos del suelo.

Esta parte de la materia orgánica del suelo es la parte activa o fracción fácil de descomponer. Constituye el suministro principal de alimentos para varios organismos vivos en el suelo. La fracción activa es fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, el estado de humedad

del suelo, la etapa de crecimiento de la vegetación, la adición de residuos orgánicos y las prácticas culturales como la labranza.

Los **carbohidratos** como los azúcares simples, la celulosa, la hemicelulosa y otros constituyen del 5 al 25 por ciento de la materia orgánica de los suelos húmedos. Se presentan en el suelo en tres formas principales: azúcares libres en la solución del suelo, polisacáridos complejos y moléculas poliméricas de varios tamaños y formas que están fuertemente unidas a los coloides de arcillas o sustancias húmicas.

Dado que hay muchos microorganismos que los utilizan, estos compuestos, por lo general, no perduran largo tiempo en el suelo. Los microorganismos a su vez sintetizan la mayoría de los polisacáridos del suelo (unidades repetidas de moléculas tipo azúcares conectadas en largas cadenas) a medida que descomponen los residuos frescos.

Los **polisacáridos** promueven una mejor estructura del suelo a través de su habilidad para aglutinar partículas orgánicas de suelo en agregados estables. Las moléculas más complejas de polisacáridos son más importantes en la promoción de la estabilidad de los agregados e infiltración del agua que las moléculas simples. Algunos azúcares pueden estimular la germinación de las semillas y la elongación de las raíces. Otras propiedades del suelo que son afectadas por los polisacáridos incluyen la capacidad de intercambio catiónico, la retención de aniones y la actividad biológica.

Los **lípidos** constituyen un grupo muy diverso de materiales. De estos, las grasas, las ceras y las resinas constituyen del dos al seis por ciento de la materia orgánica. La importancia de los lípidos obedece a la habilidad de algunos compuestos de actuar como hormonas del crecimiento de las plantas. Otros pueden tener un efecto depresivo en el crecimiento vegetal.

El nitrógeno del suelo ocurre principalmente (>90%) en formas orgánicas como los **aminoácidos**, los ácidos nucleicos y los aminoazúcares. Pequeñas cantidades existen bajo forma de aminas, vitaminas, pesticidas y sus productos de degradación. El resto está presente como NH_4^+ y es contenido en los materiales arcillosos.

Componentes y función del humus

El humus o la materia orgánica humificada, es la parte remanente de la materia orgánica que ha sido usada y transformada por varios organismos del suelo. Es un compuesto relativamente estable formado por sustancias húmicas, incluyendo ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos hematmelánicos y huminas. Es probablemente el material que contiene carbono más ampliamente distribuido en los medios terrestres y acuáticos. El humus no puede ser fácilmente descompuesto debido a sus íntimas interacciones con los minerales del suelo y además es químicamente demasiado complejo para poder ser usado por otros organismos.

Una de las más importantes características de las sustancias húmicas es su capacidad para interactuar con iones metálicos, óxidos, hidratos, minerales y sustancias orgánicas. Mediante la formación de esos complejos las sustancias húmicas pueden:

- disolver, movilizar y transportar metales y sustancias orgánicas en los suelos y las aguas, es decir, disponibilidad de nutrientes, especialmente aquellos presentes solamente en las microconcentraciones, o
- acumularse en ciertos horizontes del suelo, o sea una reducción de la toxicidad, por ejemplo, del aluminio en los suelos ácidos o la captura de los contaminantes de herbicidas -tales como la atrazina o el trifluralin- en las cavidades de las sustancias húmicas

Entre 35 y 55 por ciento de la parte no viviente de la materia orgánica es humus. Este es un importante amortiguador, reduciendo las fluctuaciones en los suelos ácidos y la disponibilidad de nutrientes. Comparadas con simples moléculas orgánicas, las sustancias húmicas son grandes, con altos pesos moleculares y muy complejas. Las características de la parte bien descompuesta de la materia orgánica, o sea el humus, son muy diferentes de aquellas que poseen las moléculas orgánicas simples. Mientras que se conoce bastante bien su composición química, la importancia relativa de los distintos tipos de materiales húmicos sobre el crecimiento de las plantas no está aún bien establecida.

El humus está formado por diferentes sustancias húmicas:

- Ácidos fúlvicos: es la fracción del humus soluble en agua bajo todas las condiciones de pH. Su color es normalmente amarillo claro o amarillo oscuro.
- Ácidos húmicos: es la fracción del humus soluble en el agua, excepto para condiciones de $\text{pH} > 2$. El color normal es marrón oscuro o negro.

El término ácido es usado para describir los ácidos húmicos debido a que se comportan como un ácido débil.

Las huminas consisten de diferentes sustancias húmicas:

- Humina: es la fracción del humus insoluble en agua a ningún pH y que no puede ser extraída con una base fuerte como el hidróxido de sodio (NaOH). Comúnmente es de color negro.

Las sustancias húmicas y fúlvicas favorecen el crecimiento de la planta directamente a través de los efectos fisiológicos y nutricionales. Algunas de estas sustancias funcionan como hormonas naturales de las plantas (auxinas y giberelinas) y son capaces de mejorar la germinación de las semillas, la iniciación radical y pueden servir como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre.

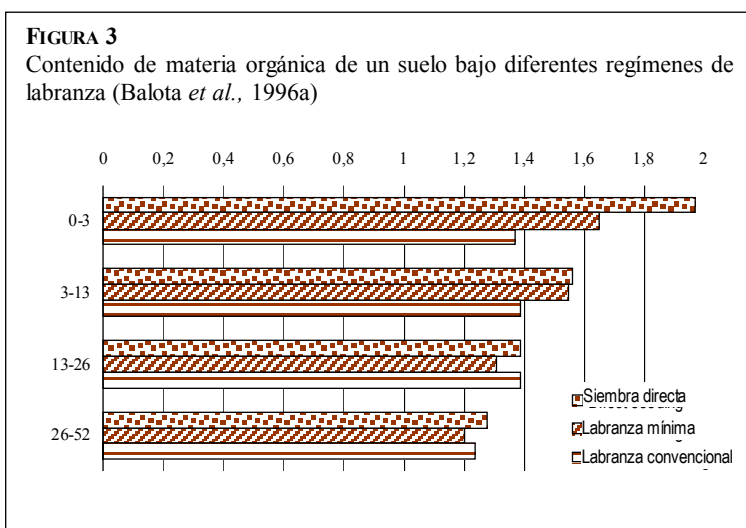
Indirectamente, pueden afectar el crecimiento de la planta mediante la modificación de las propiedades [físicas](#), [químicas](#) y [biológicas](#) del suelo, por ejemplo, el incremento de la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio iónico y favorecer una mejor labranza y aireación mediante una buena estructura del suelo.

Los ácidos húmicos y fúlvicos son mezclas complejas de grandes moléculas. Los ácidos húmicos son más grandes que los ácidos fúlvicos. Por un largo tiempo se pensó que los ácidos fúlvicos eran convertidos en ácidos húmicos pero hoy en día este proceso parece no ser correcto. Las distintas sustancias se diferencian solamente en su solubilidad en el agua. Los ácidos fúlvicos son producidos en las etapas iniciales de la formación del humus. Las cantidades relativas de los ácidos húmicos y fúlvicos en los suelos varían con el tipo de suelo y las prácticas de su manejo. El humus de los suelos forestales es caracterizado por un alto contenido de ácidos fúlvicos mientras que el humus de las áreas agrícolas y de las praderas contiene más ácidos húmicos.

Necesidad de la alimentación continua de la biota del suelo

La reducción del disturbio del suelo y el incremento de la biomasa mediante los cultivos de cobertura tal como sucede en la agricultura de conservación, conduce a la preservación de los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo y, por lo tanto, a un mejoramiento de la salud del mismo.

La mayor producción de forraje en un sistema con cultivos de cobertura y labranza reducida o cero, comparado con el monocultivo de la labranza convencional, proporciona a la superficie una manta protectora de hojas, tallos y troncos de los cultivos previos. En esta forma, la materia orgánica puede ser formada sobre la superficie del suelo creando condiciones favorables para la actividad y el desarrollo de las poblaciones de microorganismos. La materia orgánica es acumulada en capas, principalmente en la parte superior del suelo (Figura 3).



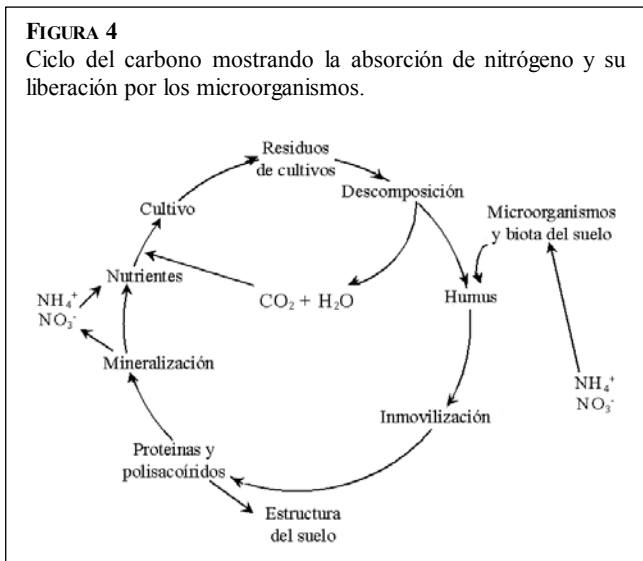
Al mismo tiempo, la labranza convencional da lugar a una mezcla homogénea de la materia orgánica y el suelo hasta una profundidad de 20 cm y, debido a la ausencia de una cobertura del suelo, tienen lugar mayores fluctuaciones en la temperatura y humedad del suelo (ver [propiedades físicas](#)) lo cual a su vez resulta en una fluctuación del desarrollo microbiano, como se aprecia en la Figura 1.

Los microorganismos que descomponen los residuos de los cultivos requieren carbono como fuente de energía y para formar sus células, pero, más importante aún, necesitan grandes cantidades de nitrógeno para su crecimiento y multiplicación. En los residuos con bajo contenido de nitrógeno como la paja, la actividad de los microorganismos será reducida debida a la ausencia de nitrógeno, dando lugar a una baja tasa de descomposición.

Durante los primeros años de la Agricultura de Conservación en suelos pobres, el nitrógeno de los residuos es insuficiente y los microorganismos usan el nitrógeno almacenado en el suelo. Este proceso es denominado inmovilización del nitrógeno (Figura 4) y puede llevar a una deficiencia de nitrógeno en los cultivos que se manifiesta por una apariencia clorótica de las hojas.

Siempre es necesario tener presente la relación C/N de los residuos y si fuera necesario, corregirla con fertilizantes. Una vez que el sistema se ha estabilizado y hay suficiente materia orgánica para suministrar el nitrógeno para el desarrollo microbiano no es necesaria la fertilización adicional. Durante el proceso de descomposición el CO₂ es liberado y la relación C/N disminuye; de esta forma los microorganismos liberan (mineralizan) nitrógeno bajo forma de amonio (NH₄₊) en el suelo. Otros microorganismos rápidamente convierten el amonio en nitrato (NO₃) el cual está

fácilmente disponible para ser absorbido por las plantas. El Cuadro 5 muestra las relaciones C/N de varios cultivos. Para evitar problemas, en términos generales, se debería buscar una relación C/N menor de 30.



Cuadro 5 Relaciones carbono/nitrógeno de residuos de diferentes cultivos

Residuo de cultivo	Relación C/N
Leguminosas y pastos	10-20
Residuos sin leguminosas	10-15
Paja (residuos después de la cosecha)	60-150
Hojas (cuando caen)	20-60

Mientras más alta sea la producción de abono verde o biomasa del cultivo, mayor será la población microbiana del suelo. Los sistemas de producción agrícola en los cuales los residuos son dejados sobre la superficie, como en la siembra directa o mediante el uso de cultivos de cobertura, estimulan el desarrollo y la actividad de los microorganismos. La biomasa microbiana es mayor bajo las condiciones de la agricultura de conservación, independientemente de la época del año. Después de 19 años de experimentación se ha obtenido un incremento de 129 por ciento de la biomasa del carbono microbiano y un incremento del 48 por ciento de la biomasa del nitrógeno microbiano (Figura 5).



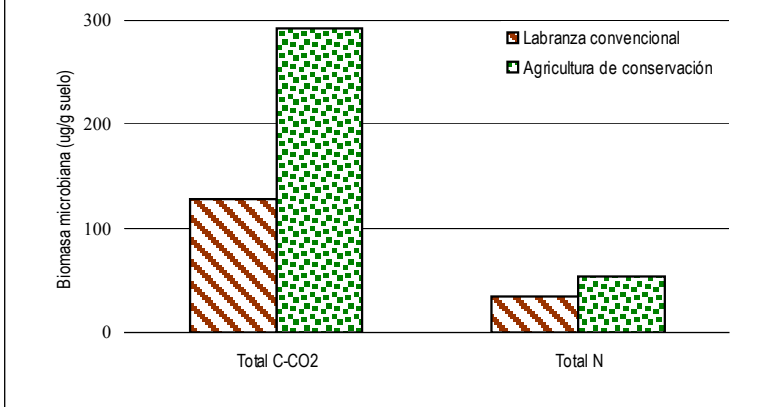
LÁMINA 8

Los cultivos de cobertura y los residuos de los cultivos proveen energía en forma continua a la biota del suelo.

R. Derpsch

FIGURA 5

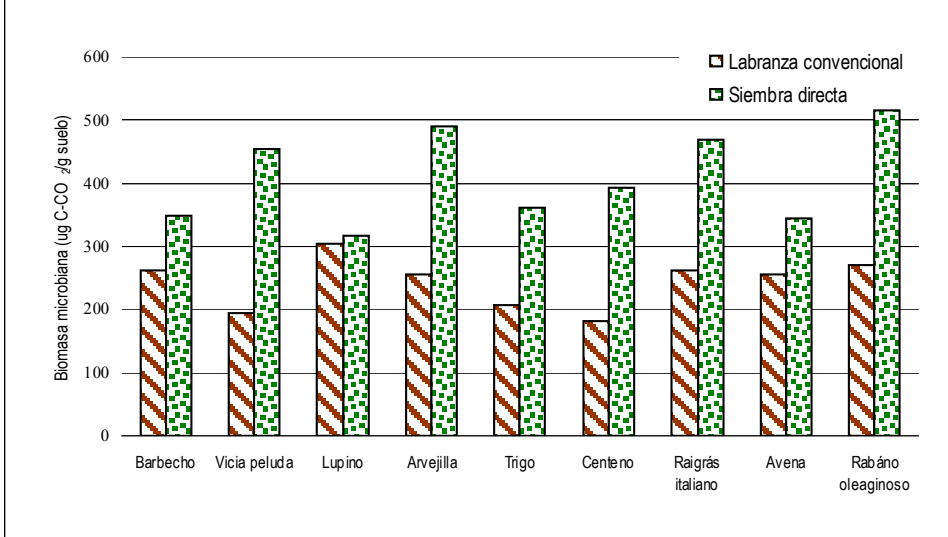
Biomasa microbiana (C y N) bajo labranza convencional y agricultura de conservación (Balota *et al.*, 1996a)



La Figura 6 muestra que aunque en general bajo la siembra directa la masa microbiana es mayor que bajo la labranza convencional, es el tipo de cultivo de cobertura lo que determina las diferencias en la biomasa microbiana. La más alta biomasa microbiana se encuentra cuando el rábano oleaginoso se siembra como cultivo de cobertura bajo el régimen de no labranza. Sin embargo, los más altos incrementos de masa microbiana se encuentran en la vicia peluda y el centeno (135 y 115 por ciento, respectivamente), comparando la siembra directa y la labranza convencional.

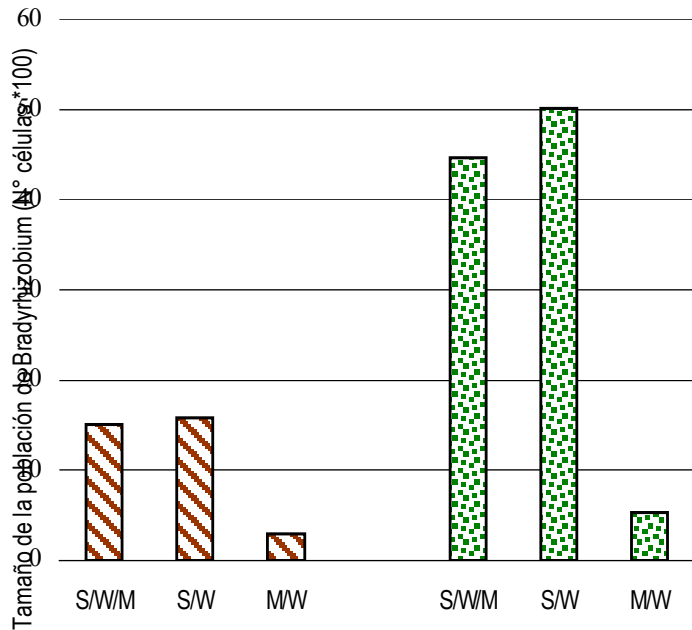
FIGURA 6

Biomasa microbiana como función de diferentes cultivos de cobertura y siembra directa (Balota *et al.*, 1996b).



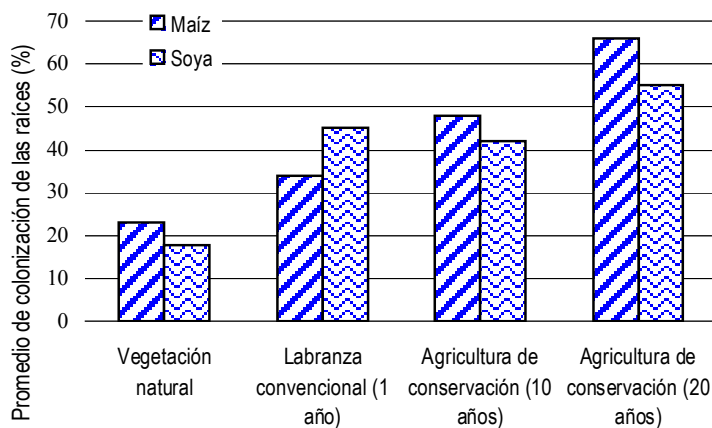
Para los sistemas de labranza cero en el sur de Brasil, comparados con la labranza convencional se informó de diferencias de cerca del 50 por ciento en las poblaciones de rizobios y biomasa del suelo (Hungria *et al.*, 1997). Las evaluaciones han demostrado que algunas rotaciones de cultivos y la labranza cero favorecen la población de *Bradyrhizobium*, la nodulación y, por ende, la fijación del nitrógeno y el rendimiento del cultivo (Voss y Sidirias, 1985; Hungria *et al.*, 1997; Ferreira *et al.*, 2000). La Figura 7 indica un 200-300 por ciento de incremento en el tamaño de la población cuando se aplica la labranza cero, comparada con la labranza tradicional. La presencia de soya en la rotación de cultivos resultó incluso en un incremento de la población de 5 a 10 veces.

FIGURA 7
 Tamaño de la población de bacterias de los nódulos radiculares con diferentes rotaciones de cultivos (S=soya; W=trigo; M=maíz) (Voss y Sidirias, 1985)



La mayor parte de las raíces de las plantas están infestadas con micorrizas que forman una red de micelios en las raíces y se extienden en la superficie que las rodea. La infestación de las raíces de los cultivos con micorrizas se incrementa con la Agricultura de Conservación como se muestra en la Figura 8 (Venzke Filho *et al.*, 1999).

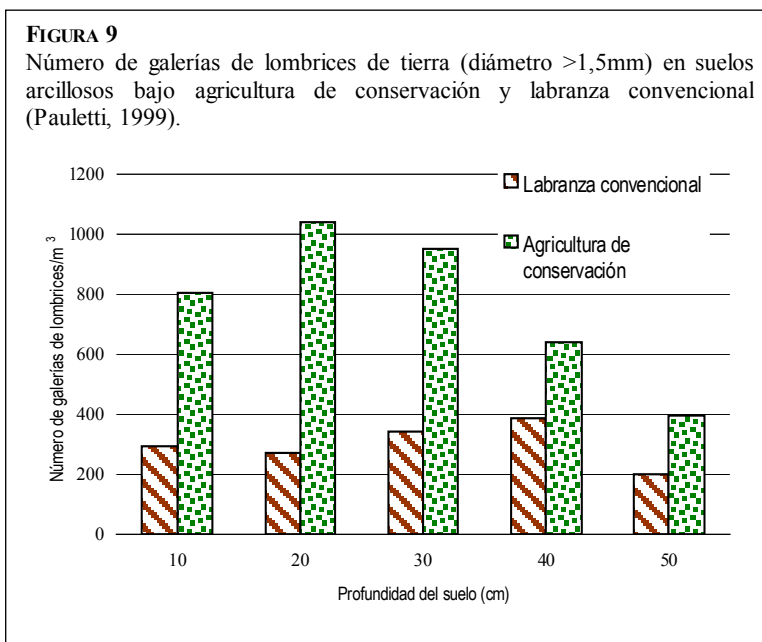
FIGURA 8
 Infestación de las raíces de los cultivos con micorrizas (Venzke Filho *et al.*, 1999)



Con el pasar del tiempo se incrementa la infestación con micorrizas resultando en un 287 por ciento de aumento después de 20 años de Agricultura de Conservación en el caso del maíz y en un 305 por ciento de aumento en soya, comparadas con la infestación bajo vegetación natural. Las raíces finas son el lugar inicial de desarrollo de las micorrizas ya que son los sitios más activos para la absorción de nutrientes. Esto explica en parte el incremento bajo la Agricultura de

Conservación: las condiciones de enraizamiento son más favorables que bajo la labranza convencional, y a su vez crean condiciones ideales para la colonización por las micorrizas. Otros factores que pueden afectar positivamente el desarrollo de las micorrizas son el incremento del carbono orgánico, la ausencia de mezclas del suelo y de los cultivos en rotación y las especies de cultivos de cobertura/abonos verdes.

Mediante la implementación de la Agricultura de Conservación, se incrementarán las poblaciones de lombrices de tierra (Figura 9). Las lombrices, como otros habitantes del suelo, rara vez suben a la superficie, excepto las epigeas y anécicas, debido a sus características físicas: presentan fotofobia –aversión a la luz- el cuerpo no tiene pigmentos (lombrices endogeas) pero son resistentes a largos períodos sumergidas durante las lluvias y al dióxido de carbono.



Tank y Santos observaron una población de lombrices de tierra de 112 individuos/m² bajo la Agricultura de Conservación, comparadas con apenas 2 observadas en la labranza convencional.

Los residuos en la superficie obligan a las lombrices a subir a la misma con el objetivo de incorporar los residuos del suelo. Una de las consecuencias del incremento de la población de lombrices es la formación de canales y poros. La actividad de excavación de las lombrices produce canales para el aire y el agua, lo cual tiene un importante efecto en la difusión del oxígeno en la zona radical y en el drenaje del agua. Además, los nutrientes y las enmiendas pueden ser distribuidas fácilmente y el sistema radicular puede desarrollarse, especialmente en subsuelos ácidos en las galerías de las lombrices. Las galerías son un indicador de fácil uso en los trabajos de investigación en el campo.

Conclusión

Los organismos del suelo de todas las formas y tamaños, desde los microbios hasta la macrofauna, son de gran importancia para la salud de las plantas y su nutrición ya que interactúan directamente en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes (Figura 4). Influyen sobre la humedad y disponibilidad de nutrientes y la movilidad en el perfil del suelo.

Ciertas especies pueden además convertirse en plagas y patógenos debido a un desequilibrio de la población y dan lugar a una pérdida de interacciones críticas en la red alimentaria del suelo. Los microorganismos son los responsables de la mineralización y la inmovilización del nitrógeno, el fósforo y el azufre, entre otros, a través de la descomposición de la materia orgánica y contribuyen a la gradual y continua liberación de los nutrientes para las plantas. Por lo tanto, las prácticas agronómicas que influyen en el reciclaje de nutrientes, especialmente en la mineralización y en la inmovilización, contribuyen a un inmediato incremento o pérdida de la productividad lo cual es reflejado en la rentabilidad del sistema agrícola.

La aplicación de los principios de la Agricultura de Conservación mejora el hábitat e incrementa la población de los organismos del suelo, lo cual a su vez resulta en:

- La incorporación y reducción de los residuos
- El incremento de la actividad microbiana y, por lo tanto, el reciclaje de los nutrientes
- La mezcla y la unión de las partículas de suelo
- La fijación del nitrógeno atmosférico
- El secuestro de carbono (almacenado como carbono del suelo)
- La movilización de los nutrientes del perfil
- La creación de galerías que mejoran la porosidad, la infiltración y la capacidad de retención del agua

Por otro lado, cuando el ecosistema del suelo no está bien manejado, las especies tienden a desaparecer resultando en una reducción de los efectos anteriores y a la dominancia de ciertas especies con consecuencias negativas. El Cuadro 6 ilustra la reducción de la mineralización del nitrógeno cuando un grupo de especies desaparece del sistema

Cuadro 6. Reducción en la mineralización si un grupo está ausente (Clapperton, 2003)

Amibas	32,4
Flagelados	1,9
Nemátodos bacterívoros	17,3
Nemátodos fungívoros	1,2
Ácaros orobátidos	0,01
Ácaros no orobátidos	0,03
Ácaros bacterívoros	0,003
Colembola fungívoros	0,8
Enquitráqueidos	3,2
Nemátodos predadores	19,1
Ácaros predadores	0,3
Ácaros nematófagos	0,2
Colembola predadora	0

Bibliografia

- Balota, E.L.** 1996. Alterações microbiológicas em solo cultivado sob plantio direto. *In: Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Palestras do I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável.* Ponta Grossa, 1996. Eds. R. Trippia dos Guimarães Peixoto, D.C. Ahrens e M.J. Samaha. 275 pp.
- Balota, E.L., D.S. Andrade y A. Colozzi Filho.** 1996a. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. *In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável.* Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos p9-11.
- Balota, E.L., M. Kanashiro y A. Calegari.** 1996b. Adubos verdes de inverno na cultura do milho e a microbiologia do solo. *In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável.* Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos p12-14.
- Clapperton, M.J.** 2003. Increasing soil biodiversity through Conservation Agriculture – Managing the soil as a habitat. *Proceedings II Congresso Mundial sobre Agricultura Conservacionista.* p.136-145.
- Edwards, C.A.** 2000. Earthworms. Chapter 8 *In: Soil Biology Primer.* Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- Edwards, C.A y J.R Lofty.** 1977. *Biology of earthworms.* Chapman and Hall. 333 p.
- Evans, H.E.** 1984. *Insect biology. A textbook of entomology.* Addison_Wesley Publishing Company Inc. 436 p.
- Ferreira, M.C., D.S. Andrade, L.M.O. Chueire, M. Takemura, y M. Hungria.** 2000. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. *Soil Biology and Biochemistry* 32:627-637.
- Gassen, D.N.** 1999. Os insetos e a fertilidade de solos. P. 70-89 *In: Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Resumos de Palestras do III Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto.* Passo Fundo.
- Gassen, D.N. y F.R. Gassen.** 1996. Plantio direto. O caminho do futuro. Aldeia Sul, Passo Fundo. 207pp.
- Hungria, M., D.S. Andrade, E.L., Balota y A. Collozzi-Filho.** 1997. Importância do sistema de semeadura directa na população microbiana do solo. EMBRAPA-CNPSo, Londrina, Brazil. Comunicado Técnico 56. 9p.
- Ingham, E.R.** 2000. The soil food web. Chapters 1-6 *In: Soil Biology Primer.* Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- Jackson, W.R.** 1993. *Humic, fulvic and microbial balance: organic soil conditioning.* Jackson Research Center. 946 p.
- Juma, N.G.** 1998. The pedoshere and its dynamics: a systems approach to soil science. Volume 1. Quality Color Press Inc. Edmonton, Canada. 315pp.
- Linderman, R. G.** 1994. General summary. P. 1-26 *In: Mycorrhizae and Plant Health.* F.L. Pflieger and R.G. Linderman (Eds.), APS Press, St. Paul.
- Lynch, J.M.** 1988. Microbes are rooting for better crops. *New Scientist* (April): 45-49.
- Moldenke, A.R.** 2000. Arthropods. Chapter 7 *In: Soil Biology Primer.* Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- Pauletti, V.** 1999. A importância da palha e da atividade biológica na fertilidade do solo. *In: Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Resumos de Palestras do III Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto.* Passo Fundo. p56-66.

- Swift, M.J., O.W. Heal y J.M. Anderson.** 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Tanck, B.C.B y H.R. Santos.** 1995. Flutuação populacional do oligochaeta edáfico *Amyntas* spp., em dois agroecossistemas, através de dois métodos de extração. *In: XXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Viçosa, Anais p546-549.*
- Venzke Filho, S.P., B.J. Feigl, J.C. M. Sá y C.C. Cerri.** 1999. Colonização por fungos micorrízicos arbusculares em milho e soja em uma cronosequência de sistema plantio direto. *In: Revista Plantio Direto. No. 54: p34.*
- Voss, M y N. Sidirias.** 1985. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira 20: 775-782.*
- Yepsen, R.B.** 1984. P. 267-271 *In: The encyclopedia of natural insect and disease control.* Revised Edition. Rodale press.