# EL PAPEL DEL COMPONENTE BIORGÁNICO EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

**Martha Marina Bolaños B.**
Investigador Corpoica Colombia
E-Mail: corpoarm@eccel.com

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fertilidad del suelo tiene como objetivo determinar la cantidad de nutrimentos disponibles para la planta lo cual es básico para elaborar un plan de fertilización y/o enmiendas que sea necesario aplicar para alcanzar los máximos rendimientos. Una herramienta para hacer el diagnóstico de la fertilidad es el análisis de suelos, siendo más frecuente recurrir al análisis de caracterización química y en menor grado se solicitan los análisis de características físicas y/o biológicas de los suelos. Sin embargo muchos aspectos relacionados con los organismos del suelo y con su actividad benéfica aún no se han aclarado porque generalmente no se les presta atención, mientras no sean una plaga, asumiéndose que el suelo es un conjunto residencial donde los seres vivos coexisten sin conocerse unos a otros cuando en realidad no existen especies aisladas, hábilmente clasificadas sino una sociedad íntimamente interrelacionada.

Dentro del ecosistema edáfico las plantas son capaces de transformar minerales en proteínas, ácidos, grasas y azúcares, constituyéndose en el eslabón que existe entre los organismos del suelo, los minerales, los animales y el hombre. Las raíces de las plantas se desarrollan en el suelo como consecuencia del geotropismo y en él crean un ambiente único, donde se suceden continua e instantáneamente infinidad de reacciones químicas, físico-químicas y biológicas que determinan la dinámica de los procesos de absorción de agua y nutrimentos. Estos procesos están influenciados por el comportamiento de las fases sólida, líquida y gaseosa del suelo, las cuales guardan un equilibrio dinámico entre sí.

Es importante considerar este equilibrio ya que las plantas absorben las formas disponibles de los nutrientes de la solución del suelo, proceso que ocurre cuando los nutrimentos de la fase mineral pasan al complejo de cambio y de allí a la solución del suelo para ser absorbidos por las raíces.

La fertilización química aplicada con el fin de mejorar el potencial productivo de los suelos afecta positivamente la biomasa porque promueve la exudación de raíces, aumenta el volumen de este órgano y promueve mayor cantidad de compuestos que sirven de sustento para el crecimiento microbiano (Kirchner et al, 1993).

Existen muchos estudios relacionados con los efectos benéficos que sobre la población de organismos edáficos tiene la aplicación de fertilizantes (Maryniuk y Wagner, 1978 ; Kirchner, et al, 1993), pero también se afirma que los fertilizantes minerales son nocivos y que pueden esterilizar el suelo. Esta clase de contradicciones se generan por el abuso que se hace de los agroquímicos en general, por cuanto la aplicación reiterada e indiscriminada de estos productos trae consecuencias detrimentales para la biomasa. Dentro del manejo del suelo debe considerarse de forma integrada la conservación de la materia orgánica o su incorporación como abono verde, compost, estiércoles y desechos agrícolas entre otros, la fertilización química y si es necesario la biofertilización para contribuir a mantener el grado de fertilidad. Estas prácticas adquieren mayor importancia en los suelos de la zona cafetera colombiana y particularmente en la asociación Tebaida Alejandría (*Typic Dystropepts - Typic Hapludalfs*) y la consociación Armenia (*Typic Hapludands*) que son dedicados al cultivo del plátano, y cuya fertilidad es moderada con bajos contenidos de materia orgánica y fuerte a moderadamente ácidos.

## DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS PARA LAS PLANTAS

La disponibilidad de un elemento en el suelo, es aquella fracción que es accesible a las raíces de las plantas, cuya concentración en la solución del suelo depende de factores como el pH y la solubilidad que están íntimamente relacionados entre sí y con la actividad microbiológica, que es la responsable de la disponibilidad del nitrógeno y además juega un papel importante en la disponibilidad de fósforo y azufre, entre otros.

De acuerdo con la Tabla 1, la presencia de bacterias específicas y de otros organismos así como el contenido de materia orgánica determinan la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, azufre y zinc. El nitrógeno es uno de los llamados nutrimentos mayores por las cantidades que necesitan las plantas para cumplir sus etapas de crecimiento y desarrollo, se considera el más importante en la constitución de un ser vivo y en la atmósfera se encuentra en una proporción de 78% ; a pesar de su relevante papel, las plantas no pueden usar el nitrógeno directamente del aire y este al igual que los otros nutrimentos deben adoptar sus formas iónicas para que puedan ser absorbidas por las plantas a través de la raíz . La materia orgánica ( residuos de animales y vegetales ) es la principal fuente nitrogenada natural ya que no existen minerales primarios nitrogenados. Las formas iónicas del nitrógeno se liberan cuando la materia orgánica ha sufrido el proceso de mineralización que es realizado mediante la actividad de la macro, meso y microbiota del suelo.

Tabla 1. Factores del suelo que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Lora, 1994).

| Nutrimento | pH óptimo del suelo | Otros factores |
|---|---|---|
| Nitrógeno | 6.0 a 8.0 | 1. Bacterias específicas, 2. Aireación, 3. Temperatura, 4. Humedad, 5. M. orgánica. |
| Fósforo (P) | 6.5 a 7.5 | 1. Al y Fe disueltos, 2. Ca disponible, 3. Organismos, 4. Materia orgánica, 5. Intercambio aniónico. |
| Potasio (K) | Superior a 6.0 | 1. Arcillas tipo 2 : 1, 2. Humedad , 3. Textura. |
| Calcio (Ca) | Superior a 7.0 | 1. Precipitación pluvial excesiva, 2. Lixiviación, 3. Exceso de magnesio |
| Magnesio (Mg) | 7 a 8.5 | 1. Aireación, 2. Exceso de Ca., 3. Exceso de K |
| Boro (B) | 5.0 a 7.0 | 1. Sequía, 2. Exceso de cal, 3. Suelos arenosos comúnmente son deficientes. |
| Manganeso (Mn) | 5.0 a 6.5 | 1. Buen drenaje, 2. Exceso de K, 3. Exceso de Fe, Cu, Zn |
| Hierro (Fe) | Debajo de 6.0 | 1. Alto contenido de cal, 2. De Mg, Cu, Zn. 3. Altos $NO_3$ o $PO_4$, 4. Pobre aireación |
| Cobre (Cu) | 5.0 a 7.0 | 1. Alto contenido de materia Orgánica y exceso de fosfatos, reduce disponibilidad. |
| Zinc (Zn) | 5.0 a 7.01 | 1. Contenido de materia Orgánica, 2. Microorganismos. |
| Azufre (S) | Por encima de 6.0 | 1. Microorganismos, 2. Buen drenaje . |
| Molibdeno (Mo) | Por encima de 6.0 | 1. Exceso de cobre, 2. Exceso de sulfatos, 3. Silicatos amorfos (alófana). |

Dentro de las bacterias con potencialidad para actuar como agentes transformadores de las diferentes formas de nitrógeno se destacan los géneros *Rhizobium, Bradirrizobium* y *Azotobacter*. Los ensayos con estos microorganismos han registrado incrementos en los rendimientos entre 15 y 25%, manteniendo la fertilización nitrogenada completa que demanda el cultivo, por otra parte han posibilitado la reducción de 15 a 20 % de la dosis de N-fertilizante, manteniéndose los rendimientos agrícolas con la consiguiente descontaminación de los agroecosistemas y de los productos de la cosecha. (Metting, 1993. Citado por Dibut et al, 1995).

El fósforo es otro de los llamados macronutrientes requerido por las plantas para los siguientes procesos : fotosíntesis, almacenamiento y transporte de energía, respiración, crecimiento de la célula, transferencia de caracteres hereditarios de una generación a otra, desarrollo de las raíces, mejor uso del agua, acelera la maduración y es vital en la formación de la semilla. Estas funciones se verían seriamente afectadas en primer lugar si en el suelo no existiera buena cantidad de materia orgánica y de organismos para transformarla y en segundo lugar si los contenidos de hierro y aluminio disueltos y/o el calcio disponible son altos. El fósforo es prácticamente inmóvil en el suelo y cuando se mueve lo hace por difusión, proceso que depende de la humedad, porosidad, textura y de la temperatura del suelo.

Microorganismos como las micorrizas o las bacterias solubilizadoras de fósforo contribuyen a que las plantas tomen de la solución del suelo los niveles de fósforo que requieren. Los hongos micorrícicos son capaces de absorber y transportar fosfatos a través de sus hifas y de translocarlos a las células de la raíz desde sus arbúsculos (estructuras características de las micorrizas arbusculares). Según Azcon, 1996, citado por Bolaños, 1996, un centímetro de raíz micorrizada absorbe la cantidad de nutrimentos que absorbería un metro de raíz no asociada a los hongos micorrícicos.

La dinámica del azufre en los suelos agrícolas está determinada en gran parte por la actividad biológica ya que la oxidación del azufre inorgánico (sulfuros, azufre elemental y tiosulfato) a sulfato es efectuada por organismos quimioautótrofos del género *Thiobacillus*,. (Alexánder, 1980). Los resultados de investigaciones sobre el tema reportan baja disponibilidad de este nutrimento en el suelo, esto puede estar asociado con la pérdida de materia orgánica y con la consecuente disminución de la biota edáfica.

Respecto al zinc, su disponibilidad baja cuando el contenido de materia orgánica es elevado o cuando hay un exceso de fosfatos. La cantidad de potasio disponible en la mayoría de los suelos ácidos en los trópicos es baja. Se debe reconocer que los niveles de K soluble en la solución del suelo son solamente indicadores de disponibilidad momentánea, este problema no es tan grave en suelos volcánicos recientes.

La dinámica del nitrógeno, del fósforo y del azufre en el suelo está influenciada en gran parte por procesos biológicos y los demás nutrimentos sufren un reciclaje continuo en los ecosistemas, englobándose dentro de los ciclos biogeoquímicos de los bioelementos.

El pH del suelo mide su grado de acidez o alcalinidad y es indicador de una situación que es anormal cuando alcanza valores extremos, si se desvía hacia el lado alcalino el suelo tiene cationes en exceso mientras que cuando es pobre en cationes el pH baja presentándose acidez. Las plantas que prefieren un pH bajo son sensibles a la falta de micronutrientes en especial Mn, Fe y Zn. Existen variedades de cultivos sensibles a suelos ácidos e igualmente algunas que se adaptan a suelos salinos. La reacción del suelo es quizá una de las propiedades químicas más importantes que determina la disponibilidad de nutrimentos ya que influye sobre la actividad microbial, la solubilidad y liberación (disponibilidad) de los elementos en la solución, la cantidad de iones almacenados en sitios de intercambio (CICA y saturación de bases) y la saturación de aluminio de cambio, afectando

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

así la probabilidad de ser absorbidos por las raíces de las plantas (ICA, 1981).

El grado de acidez del suelo también afecta el tipo e intensidad de actividad microbiológica, la cual tiene influencia sobre procesos como la mineralización de la materia orgánica, la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de fósforo entre otras (IGAC, 1996).

La práctica agrícola del encalado para manejar el pH del suelo influye sobre la disponibilidad de elementos como el potasio, que es requerido por el plátano en mayores cantidades que el nitrógeno y el fósforo. Al encalar se reduce la toxicidad de aluminio (Al) y manganeso (Mn) y a la vez se minimiza su acción depresiva sobre la absorción de K y permite el desarrollo de sistemas radiculares capaces de absorber más K. En los suelos de la zona cafetera central de Colombia, desarrollados bajo la influencia de cenizas volcánicas el elevar el pH con encalado incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) porque son suelos que contienen cantidades significativas de minerales con cargas eléctricas superficiales dependientes del pH. Una mayor CIC incrementa la habilidad del suelo para retener el K removiéndolo de esta forma de la solución del suelo y reduciendo el potencial de pérdidas por lixiviación que se favorece por la textura liviana de estos suelos.
Además del pH, la presencia de materia orgánica y de organismos específicos, la aireación, la temperatura, la humedad y la relación entre nutrimentos son factores del suelo que afectan la disponibilidad de nutrimentos.

## ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS POR LAS PLANTAS

Entre los factores que afectan el proceso de absorción de nutrimentos por las plantas están :

### a. Aireación y concentración de oxígeno en la atmósfera del suelo.

La energía requerida para la absorción de nutrimentos es generada por el proceso de respiración de las raíces y para que este proceso sea posible tanto en raíces como en organismos es esencial la aireación del suelo. Si la aireación es pobre no solo se inhibe la absorción sino que también se afecta el estado de oxidación de algunos de los nutrientes esenciales. Al respecto; la anóxia inhibe la fosforilación oxidativa, el transporte de electrones y el transporte activo. La cantidad óptima de oxígeno en el suelo varía según la planta y el clima. La falta de oxigeno puede presentarse cuando: El suelo se calienta mucho debido a una insolación directa, el suelo es compacto o denso, con sus macroporos reducidos, permitiendo una circulación deficiente del aire o cuando los microorganismos tienen una actividad incentivada por una descomposición de materia orgánica verde. (Primaveci, 1982).

Estas condiciones de falta de oxígeno son más frecuentes en suelos tropicales donde la producción vegetal podría ser muy superior a la del clima templado, puesto que es mucho mayor la liberación de energía en esas latitudes, pero todo depende de que las técnicas agrícolas sean adaptadas a las necesidades vegetales de los trópicos. Por otra parte el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera ocurre principalmente a través de los poros ocupados por el aire puesto que la difusión en el aire es cerca de $10^4$ veces más rápida que en el agua. (Marschner, 1986). Según Treonis y Lussenhop, 1997 ; el efecto de altas concentraciones de gas carbónico sobre la biota del suelo es difícil de detectar. Sin embargo, según Rhode, 1960, las lombrices encuentran en la acumulación de gas carbónico una limitación a su existencia. (Primavesi, 1982).

### b. Temperatura del suelo

El crecimiento de las raíces y el proceso de absorción es frecuentemente limitado por altas o bajas temperaturas y aunque a 50 cm de profundidad la temperatura del suelo tiende a estabilizarse, los

organismos que habitan en el suelo, que en su mayoría abarcan hasta 20 ó 30 cm de profundidad, deben suplir sus necesidades de oxígeno y de materia orgánica. Toda la fauna del suelo depende de un cierto grado de humedad, por lo tanto la elevación de la temperatura es mortal para muchos organismos que no resisten sequía por estar recubiertos de una fina película.

La temperatura determina la actividad metabólica que está relacionada con la absorción de nutrimentos y el proceso de transporte de iones. En suelos fríos se requiere mayor concentración de nutrimentos que en suelos calientes para obtener la máxima tasa de crecimiento. Otro efecto de las bajas temperaturas sobre el escaso suministro de nutrimentos es inicialmente causado porque se inhibe el crecimiento y posteriormente el efecto es directo en la cinética de toma de nutrimentos como el Fósforo. (Mackay and Barber, 1984 citados por Marschner, 1986).

**c. Interacciones entre nutrimentos:**

Las interacciones entre dos nutrimentos minerales son importantes cuando los niveles de ambos están cerca de los rangos de deficiencia. Estas interacciones también son importantes en la evaluación de niveles críticos de toxicidad. La deficiencia de un nutrimento en las plantas puede ser inducida por el exceso de otro elemento, un ejemplo común de esta situación es la deficiencia de Mg que se manifiesta frente a altas concentraciones de K. La "ley del mínimo" de Leibig (1885) fue la primera tentativa para llamar la atención al hecho de que cuando un elemento falta los otros no podrán actuar normalmente.

Las reacciones antagónicas entre nutrimentos son tan importantes como la concentración de los elementos en la superficie de la raíz en la absorción. Olsen (1972) cita las siguientes interacciones :

- Zinc con fósforo, nitrógeno, magnesio, hierro y cobre
- Cobre con fósforo, hierro y molibdeno
- Mo con fósforo, azufre y hierro
- Hierro con fósforo y manganeso
- Boro con Calcio

Bussler, 1970, reporta que un exceso de nitrógeno amoniacal o de sodio o de potasio induce deficiencia de calcio y un exceso de este último causa la deficiencia de potasio, magnesio, fósforo, hierro y boro. Otros estudios, (Primavesi, 1982) reportan que el exceso de nitrógeno induce deficiencia de potasio y de molibdeno, como también que en las zonas cercanas a depósitos de azufre se ha observado deficiencia de calcio, por otra parte la fertilización reiterada con fósforo también ocasiona deficiencia de calcio y/o de hierro y zinc. En suelos inundados la alta presencia de hierro induce deficiencia de manganeso y de fósforo, la deficiencia de este último frecuentemente es consecuencia de los niveles elevados de aluminio intercambiable y de boro que es común encontrar en suelos salinos. El exceso de manganeso desencadena deficiencia de hierro y tanto el Manganeso como el hierro pueden presentar valores deficientes cuando los valores de calcio y de zinc son altos. La deficiencia de hierro también se presenta en suelos arenosos ricos en níquel, cobalto, cromo y materia orgánica (Primavessi, 1982).

**d. Sustancias tóxicas**

La absorción de nutrimentos al igual que otros procesos metabólicos de la planta son afectados por sustancias tóxicas. Estas pueden ser altas concentraciones de aluminio y manganeso y de cobre, hierro, zinc y molibdeno; exceso de boro y metales pesados ; altas concentraciones de sales solubles; otras sustancias tóxicas son malonatos, arsenatos, fluoracetatos, fenilhidrazona, transaconitatos, cloroanfenicol, arsenitos, etc. Un exceso en la fertilización puede significar toxicidad.

El uso reiterado de ciertos herbicidas produce toxicidad transitoria sobre grupos específicos de microorganismos del suelo, estos efectos alteran la dinámica de los nutrimentos y por consiguiente su absorción; algunos plaguicidas (nematicidas) también alteran este proceso. La toxicidad es el resultado de la absorción de algún ión y de su acumulación en las hojas en una cantidad tal que trae como consecuencia daño a la planta.

En el agua de riego pueden encontrarse algunos iones como cloruros, sodio y boro que en altos niveles causan toxicidad a los cultivos, algunos errores del manejo de agroquímicos empleados para fertirrigación y prácticas en general pueden ser amortiguados por la materia orgánica debido a que aumenta el poder tampón del suelo, por otra parte el ión $Cu^{2+}$ se enlaza fuertemente a los ácidos húmicos y fúlvicos del suelo formando complejos $Cu^{2+}$ _ materia orgánica, de tal forma que en la solución del suelo hasta 98 % del cobre se compleja con compuestos orgánicos de bajo peso molecular. (Hodgson et al, 1966 citado por García, 1990). Así mismo, para controlar el efecto tóxico del zinc se puede elevar el pH mediante encalamiento, mientras que la aplicación de fertilizantes que contengan azufre o yeso puede deprimir la absorción de molibdeno cuando este se encuentra en exceso en el suelo. La toxicidad por aluminio es un gran problema en suelos ácidos (pH < 5.5).

Sin embargo, suelos ácidos ricos en materia orgánica nativa o tratados con altas cantidades de residuos orgánicos, presentan bajas concentraciones de aluminio en su solución y permiten un buen desarrollo de los cultivos, bajo condiciones en las cuales las toxicidades de otra forma podrían ocurrir. (Burbano, 1990).

La toxicidad por manganeso se puede contrarrestar mediante el uso de grandes cantidades de magnesio ya que existe la competencia 1:1 entre manganeso y magnesio. (Lobnis, 1960, citado por García, 1990).

### e. Impedancia Mecánica

En suelos compactados se reduce el número de poros grandes y se incrementa la densidad aparente, en estas condiciones las raíces no pueden aumentar su diámetro y penetran por los poros más pequeños (Wiersum, 1957 ; citado por Marschner, 1986). Estas raíces tienden a desplazar partículas de suelo, la fuerza necesaria para este desplazamiento se convierte en una limitante y la rata de elongación de la raíz disminuye.

La absorción de nutrimentos puede verse afectada por el efecto mecánico ejercido por el suelo impidiendo el crecimiento de las plantas, este efecto se denomina impedancia mecánica y también es causado por la presencia de rocas o de capas endurecidas que generalmente ocurren por la destrucción de los agregados del suelo, por la presión de maquinaria agrícola o por un manejo agrícola inadecuado. El confinamiento de las raíces a la capa superficial es común en suelos cultivados permanentemente con pasturas. Estos efectos negativos de la impedancia mecánica pueden evitarse mediante la actividad de macroorganismos excavadores como las lombrices.

### f. Actividad de los organismos

El papel que juegan los organismos en la rizósfera de las plantas afecta la nutrición mineral principalmente en cuatro aspectos : (Rovira *et al* , 1983 citados por Marschner, 1986).

1. La fisiología y el desarrollo de la planta
2. Crecimiento y morfología de raíces
3. Procesos de absorción de nutrimentos
4. Disponibilidad de nutrimentos

Los dos primeros aspectos, principalmente el crecimiento de la raíz, son estimulados o inhibidos por los organismos dependiendo del tipo y de las condiciones ambientales.

La inhibición puede ser causada por la producción de fitotoxinas y la estimulación por la movilización de nutrimentos minerales, fijación de nitrógeno y/ o la producción de fitohormonas ; los efectos de los microorganismos fijadores de nitrógeno sobre el sistema radical son morfogenéticos, así como la estimulación de la extensión de raíces por *Azotobacter* (Harper and Lynch, 1980) y la formación de pelos radicales por *Azospirillum* probablemente son efectos hormonales (Martin and Galtzle, 1982). Los efectos de las microrrizas sobre las plantas hospedantes son causados por los cambios morfológicos en la raíz que le permiten absorber mayor cantidad de nutrimentos en un mayor volumen de suelo explorado (Bolaños, 1996).

Los aspectos relacionados con absorción y disponibilidad de nutrimentos son estimulados por la presencia de los diferentes grupos de organismos. A continuación se mencionan las actividades más relevantes de la biota edáfica según sus clasificación grupal.

La mayoría de los componentes de la mesofauna y muchos de la macrofauna mejoran el suelo especialmente en lo que respecta a la movilización de nutrimentos a través de las enzimas y el mejoramiento de la estructura a través de la microvida. Las características físicas se mejoran revolviendo y perforando el suelo mediante las galerías construídas por larvas, insectos, lombrices, abejorros, entre otros organismos que favorecen la penetración de las raíces, la infiltración del agua y la circulación del aire. Existe una relación específica entre los animales de un cierto suelo y sus condiciones edafológicas . Por ejemplo a medida que el suelo empeora en sus condiciones físicas y químicas, disminuye la relación entre ácaros y colémbolos.

La actividad de las lombrices tiene efectos significativos sobre la conductividad hidráulica, humedad, densidad aparente, porosidad, morfología y micromorfología del suelo. La influencia de las lombrices sobre la estructura y fertilidad del suelo contribuye a la maduración y desarrollo de los suelos minerales (Stockdill, 1982 ; Hoogerkamp et al. 1983, citados por Boyle et al, 1997). Su presencia se ha relacionado con el desarrollo del horizonte A 1 (Bakker,1982), mientras que su papel en la humificación y estabilización de las condiciones fisicoquímicas del suelo fué enfatizado por Kajak, 1985 ( Boyle, 1997), de acuerdo con este último investigador bajo fertilización orgánica la principal actividad benéfica de las lombrices se ha relacionado con la mineralización de la materia orgánica y el incremento en el suministro de nutrientes. Además a estos macroorganismos se les reconoce el aporte al mejoramiento del pH mediante la acción de sus glándulas calcíferas sobre los compuestos ingeridos.

La fauna influye en los procesos formadores de suelos mediante su actividad excavadora y transportadora, reconociendosele su gran capacidad para concentrar calcio a través de las glándulas de Morten, y devolverlo a la capa superficial, ejemplos de estos macroorganismos además de las lombrices son las larvas de insectos y las hormigas que aflojan el suelo y también lo enriquecen sustancialmente con calcio contribuyendo a que en suelos bien poblados por mesofauna, el humus producido siempre es de buena calidad. De esta forma se mejora la capacidad de intercambio catiónico ya que la CIC de un suelo está determinada por los coloides minerales y orgánicos (arcillas y humus), los macroorganismos predigieren la materia orgánica de modo que pueda ser atacada directamente por las bacterias. Por otra parte la meso y macrofauna activas rompen la estructura de la lignina y celulosa originando condiciones poco aptas para el desarrollo de los hongos del suelo evitando enfermedades fúngicas.

En plantas bien nutridas y sanas la actividad fotosintética es elevada y por lo tanto gran cantidad de fotosintetatos es transportada a la raíz, proporcionando un incremento de la actividad microbiana en

la rizosfera. Tal actividad puede deberse a los siguientes grupos de organismos :

**Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.**

Dentro del término rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se han reportado varios géneros microbianos: *Arthrobacter, Bacillus, Enterobacter, Serrata y Pseudomonas*. Bashan, 1990, considera que *Azospirillum* es otro género que se debe incluir en esta clasificación (Hernández et al, 1994).

Entre los mecanismos que explican como estas bacterias pueden promover directamente el crecimiento de las plantas o inhibir el potencial patógeno se pueden mencionar : la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas; aceleración en la toma de nutrientes a través de mecanismos de oxidación o solubilización de minerales por reducción del pH del medio, gracias a la liberación de protones de las plantas y los microorganismos comprometidos (Bashan y Gina Holguin, 1993). Otras bacterias son capaces de generar cambios morfológicos en las plantas como la formación de pelos radicales que permiten el incremento de la toma de agua y nutrimentos y la formación de pilis que contribuye a la fuerte adhesión de los microorganismos a la superficie de la raíz (Buyer, Kratzke y Sikora, 1993 citados por Hernández, 1994).

En la Tabla 2 se presentan los resultados del efecto de la estimulación del crecimiento vegetal sobre el rendimiento del cultivo de maíz, siendo *Pseudomonas cepacea* la mejor especie. Otras bacterias promueven el crecimiento de plantas indirectamente, ya que son utilizadas en control biológico porque inhiben o compiten con microorganismos patógenos del suelo. La producción de antibióticos, sideróforos (sustancias que inmovilizan hierro) y/o la competencia para colonización de la raíz o por nutrientes presentes en la superficie de la planta son otros mecanismos que tienen las bacterias promotoras del crecimiento. (Okon, 1.994).

Tabla 2. Efecto de la estimulación del crecimiento y rendimiento en maíz. (Hernández, et al, 1994)

| Tratamientos | Altura} (cm) | Hojas (Número) | Rendimiento |
|---|---|---|---|
| Sin inocular + $N_0$ | 128.47 fg | 10.17 cde | 6.66 f |
| Sin inocular + $N_{60}$ | 127.87 g | 9.62 e | 8.36 c |
| P*. Fluorescens + $N_0$ | 160.00 b | 12.87 a | 7.96 d |
| P*. cepacia +$N_{60}$ | 164.70 a | 13.5 a | 9.25 b |
| S* aurantiacus + $N_{60}$ | 160.37 b | 13.42 a | 7.45 e |
| Sin inocular + $N_{120}$ | 126.95 g | 10.47 bcde | 9.53 ab |
| P*.fluorescens + $N_{120}$ | 138.00 cd | 11.37 b | 9.66 a |
| P*. cepacia + $N_{120}$ | 139.92 c | 11.17 bc | 9.67 a |
| S*. aurantiacus + $N_{120}$ | 137.60 d | 10.77 bcd | 9.58 ab |

P* Pseudomonas ; **S***

**Bacterias nitrificantes** : transforman el amonio a nitritos y nitratos, son aerobias, dependen del pH y la temperatura, pueden ser quimioautótrofas o heterótrofas, entre estas últimas se citan los géneros *Bacillus, Pseudomonas, Clostridium* del grupo de las bacterias. Algunos actinomicetos como *Nocardia y Streptomices* y hongos de los géneros *Aspergillus, Penicillum* también oxidan sulfatos nitrogenados.

**Bacterias amonificantes** : mineralizan proteínas y aminoácidos produciendo amoníaco el cual

puede ser utilizado por la planta. La temperatura, el pH, la aireación, la humedad, tipo de arcillas y suministro de nutrimentos pueden afectar su actividad.

**Bacterias desnitrificantes :** reducen los nitritos y nitratos a formas gaseosas de nitrógeno ($N_2$, NO, $N_2O$), son anaeróbicas y requieren pH cercano a 7, la denitrificación biológica es el mayor proceso a través del cual el nitrógeno fijado es devuelto del suelo a la atmósfera. Se han reportado 23 géneros de bacterias con capacidad denitrificadora, los más estudiados son : *Thiobacillus, Pseudomonas, Rhizobium, Agrobacterium, Azospirillum, Bacillus, Flavobacterium, Halobacterium y Rhodopseudomonas.*

**Fijadores de nitrógeno :** La fijación biológica de nitrógeno atmósférico (conversión del $N_2 \rightarrow 2\ NH_3$ ), la realizan organismos procariontes como las bacterias y algas verde - azules (*Cyanophyceae*), 11 especies de las 47 familias de bacterias y 8 familias de *Cyanophyceae* (Werner, 1980 citado por Marchner, 1986). Estos microorganismos pueden ser de vida libre (*Azotobacter*) o vivir asociados simbióticamente en la rizosfera de plantas hospedantes como las leguminosas (*Rhizobium*). Estas últimas contribuyen a la nutrición nitrogenada de la planta por cuanto pueden aportar de 50 a 300 kg N/ha/año.

Las bacterias de vida libre que son capaces de fijar nitrógeno, tales como *Clostridium pasteurianum* (aislado por Winogradsky en 1893) *y Azotobacter chroococcum* (aislado por Beijerinck en 1901) están presentes en la mayoría de suelos, pero los sistemas de asociación simbiótica son más eficientes en el proceso de fijación de nitrógeno. Las asociaciones en la rizosfera se caracterizan por su alta especificidad con el hospedante. Las asociaciones más importantes son *Beijerinckia* y sugareane ; *Azotobacter paspali* y bahia grass (*Paspalum notatum*) ; y *Azospirillum* y guinea grass (*Panicum maximun*) pear millet (*Pennisetum glaucum*) ; o maize (Döbereiner, 1983 citado por Marchner, 1986).

La asociación *Azospirillum* - arroz es muy conocida y en algunos estudios (Hernández et al, 1994) se ha reportado a *A. brasiliense* como la especie más infectiva y que además incrementó los rendimientos. Esta especie en el cultivo de la caña de azúcar también fue la más eficiente.

Por su parte *Azotobacter* es un género de bacterias capaz de producir sustancias fisiológicamente activas. Bajo condiciones ambientales determinadas, el efecto beneficioso de las bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno atmosférico no es precisamente la fijación de este nutrimento, sinó la producción de sustancias fisiológicamente activas como citoquininas, auxinas y giberelinas, las cuales en acción conjunta estimulan la germinación de semillas y aceleran el desarrollo de algunas especies vegetales, *Azotobacter chroococcum* se ha reportado como una de las especies más promisorias. (Hernández et al, 1994).

En INIFAT se evaluó el efecto de la función de *Azotoryza* en banano, la aplicación del biopreparado a base de la cepa de *Azotobacter chroococcum* produjo estimulación en todos los parámetros de crecimiento evaluados. En la Tabla 3 se observan los resultados de la inoculación de Azotoryza sobre el rendimiento del cultivar de banano Cavendish Gigante, obteniéndose un incremento del 5 % respecto al control, equivalente a una ganancia en rendimiento de 2 t/ha aproximadamente. La bacteria logra suplir, sin alterar el rendimiento, 20 % de la dosis de fertilizante nitrogenado (30 g N/ planta = 65.2 g de urea), además, del aspecto económico debe considerarse el beneficio ecológico que se promueve sobre el ecosistema.

Los organismos antes mencionados fijan el nitrógeno atmosférico a formas utilizables por la planta, otros organismos que pueden realizar este proceso son :

bacterias de los géneros *Bdellovibrio, Bradirrizobium*, actinomicetos, hongos, algas y protozoos. La asociación de micorrizas a los fijadores de nitrógeno influyen benéficamente, por el contrario, los nemátodos actúan como predadores.

**Bacterias Solubilizadoras de fósforo :** *Estos organismos con capaces de disolver fosfatos* inorgánicos como la roca fosfórica, muchos de los microorganismos más comunes del suelo son capaces de solubilizar fosfatos insolubles, algunos ejemplos de estos son *Pseudomonas, Bacillus,*

Tabla 3. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado en combinación con *Azotoriza* en el cultivar "Cavendish Gigante".

| Tratamiento | Rendimiento (t/ha) | Peso racimo (kg ) | manos por racimo (#) | dedos por racimo (#) | Peso dedos (g) | Relación Fruto / raquis |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100% N | 42.19 ab | 29.14ab | 10.75 a | 182,50 a | 140.0 a | 13 :1 |
| 100% N+A | 44.77 a | 30.87 a | 11.00 a | 185.00 a | 142.8 a | 18 :1 |
| 80% N | 37..97 c | 26.03 c | 8.25 b | 157.50 b | 122.3 b | 12 :1 |
| 80% N+A | 41.83 b | 28.27 b | 10.75 a | 181.8.50 a | 139.9 a | 14 :1 |
| 50% N | 34.50 b | 23.20 d | 8.00 b | 136.00 c | 91.50 a | 7.5 :1 |
| 50% N+A | 36.90 c | 204.85 c | 8.25 b | 150.25 b | 115.0 c | 9 :1 |
| ES x | 0.746 | 0.506 | 0.316 | 1.422 | 0.241 | |

*Streptomyces, Penicillum, Fusarium y Aspergillus* entre otros. Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, la solubilización debe ocurrir dentro de la rizosfera puesto que más allá tendría poco efecto debido a la lenta difusión del fosfato en el suelo y a la falta de sustratos fuera de la zona rizosférica.

**Micorrizas :** Las raíces de la mayoría de las plantas que crecen en el suelo usualmente están asociadas con micorrizas. Las plantas poseen diferentes grados de dependencia frente a las microrrizas clasificándose como micotróficas obligadas o facultativas. Las micorrizas pueden ser Ectomycorrizas o Endomicorrizas, las primeras predominan en especies arbóreas de la zona templada pero también pueden encontrarse en especies de árboles de zonas semiáridas (Högberg and Nylund, 1981). Las Endomicorrizas son hongos que pertenecen al orden **Glomales** y pueden crecer *inter e intracelularmente en el cortex de la raíz.* Dentro de estas, las micorrizas arbusculares (M.A.) son las más comunes, son simbiontes obligados y se han encontrado en gran parte de las formaciones vegetales del mundo. Según Schreiner y Bethlenfalvay, 1997, estos hongos pueden verse afectados por el empleo de biocidas que causan variación principalmente en el proceso de esporulación.

Las raíces micorrizadas pueden tomar varias veces más fósforo por unidad de longitud que raíces no micorrizadas, esto es posible, primero por la gran área resultante del crecimiento de las hifas, las cuales pueden llegar varios centímetros más allá de donde puede llegar la raíz, absorbiendo fósforo y otros nutrimentos. *El transporte de fósforo por las hifas de las* M.A. a 8 cm de la raíz del hospedante fué demostrada por Rhodes and Gerdemann, 1975, (Marschner, 1986). Esta asociación simbiótica entre hongos y plantas permite aumentar el volumen de suelo explorado por la raíz e incrementar la absorción de agua y nutrimentos como el P, K, N, S, Fe, C, Zn y Cu, entre otros. La mayor exploración del suelo para obtener nutrientes y agua también contribuye a la agregación del suelo (Orozco, 1994)

Según López, 1990 la actividad de los microorganismos se puede resumir en los siguientes acápites:

1. Liberación de iones durante la descomposición de materiales orgánicos.
2. Inmovilización de iones mediante la incorporación del tejido microbiano.
3. Oxidación de un elemento a una forma menos accesible.
4. Reducción de una forma oxidada bajo condiciones de bajo suministro de $N_2$.

5. Transformaciones indirectas debidas a cambios en el pH o en el potencial de oxidadción.
6. Cambio en la cantidad del elemento presente como en el caso de la fijación biológica de nitrógeno.

Los efectos microbiológicos sobre la disponibildad de micronutrimentos tienen que ver con la oxidación y la reducción del manganeso y el hierro, cuyo comportamiento está asociado con el cambio en el potencial redox del suelo, y guarda estrecha relación con el contenido hídrico del mismo.

## LA ACCIÓN BIORGÁNICA EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

Los suelos agrícolas son el escenario de muchos procesos desarrollados por la biota efáfica y las plantas, los cuales hacen relación con : captación de energía y sustancias mediante fotosíntesis, descomposición de residuos de plantas, intercambio de cationes y formación de complejos orgánicos y minerales (Burbano 1989).

En lo referente a la materia orgánica, esta es indispensable para mantener la vida de los meso y microorganismos, porque la bioestructura y la productividad del suelo se basan en la presencia de materiaels orgánicos en descomposición o humificados. De los cuales, los primeros (materiales en descomposición) representan de 10 a 30% de la materia orgánica y los materiales humificados constituyen de 70 a 90% de la reserva total de materia orgánica en suelos minerales.

La acción biorgánica sobre la producción de cultivos es benéfica e influye en los siguientes aspectos: sirve como sustento para meso y microorganismos, es fuente de nutrimentos inorgánicos para las plantas como nitrógeno, fósforo y azufre principalmente, se constituye en factor importante en la conservación del suelo y del agua, en la agregación del suelo y en el desarrollo de las raíces, además es material para intercambio catiónico.

Los aspectos mencionados revelan la importancia del efecto de la materia orgánica sobre diversas propiedades del suelo como la textura, profundidad, estructura, pH, conductividad hidráulica y densidad aparente entre otras; y sobre la biota del suelo por ser fuente de elementos nutritivos como el nitrógeno, fósforo y azufre. En los procesos de síntesis y descomposición de la materia orgánica participa la biomasa que está conformada por los microorganismos y animales vivos del suelo. La biomasa es la responsable de que los nutrientes de las diferentes fracciones de la materia orgánica se vuelvan disponibles para la planta. La fracción lábil es aquella de rápida descomposición por la acción directa de los sistemas enzimáticos microbiales y esto la hace : 1. Activa = (1-2 años de permanencia), 2. Materia orgánica del suelo lenta = (20-50 años) ; 3. Materia orgánica del suelo pasiva = (800-1000 años de tiempo de permanencia).

## ABONOS ORGÁNICOS

En los sistemas de agricultura sostenible se reconoce como un factor clave el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, en el trópico lo anterior adquiere especial importancia porque muchos suelos tienen arcillas de baja actividad. El cuarzo, la caolinita y los óxidos minerales tienden a ser dominantes y muchas propiedades físicas, químicas y biológicas de los horizontes superficiales dependen considerablemente del contenido de materia orgánica del suelo. Por otra parte estos suelos se encuentran en climas húmedos o en climas semiáridos de tal forma que si son intervenidos por el hombre, pierden muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas que los mantenían en equilibrio.

Los abonos orgánicos se constituyen en una opción para incrementar el contenido de materia orgánica del suelo que se pierde por erosión o por prácticas culturales como la quema de residuos de

cosecha. Dentro de los abonos orgánicos se pueden incluir : estiércoles sólidos y líquidos, basuras, abonos verdes, residuos de cosechas, deyecciones de lombrices, entre otros. Estos abonos se descomponen y forman humus humus produciendo nutrimentos para las plantas especialmente nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso y boro. La materia orgánica (MO), inclusive el estiércol fermentado, tiene efecto regulador sobre el pH. El suelo ácido se acidifica más debido a los restos orgánicos descompuestos en ácidos fúlvicos. Sin embargo, bajo condiciones favorables, es decir en presencia de calcio y fósforo, la microvida aumenta el pH durante la descomposición de la materia orgánica tanto por la amonificación del suelo, como por las excreciones alcalinas de bacterias. En suelos alcalinos la M O promueve su acidificación por: Aumentar la infiltración de agua, la lixiviación de las sales y por producir ácido carbónico, uno de los agentes más poderosos de desalcanización.
El bagazo de caña, la vinaza o cualquier sustancia orgánica que sirva de alimento para la microflora tiene efectos sobre el pH de los suelos, aumentando el de los ácidos y disminuyendo el de los alcalinos, eliminando la toxicidad de manganeso y de aluminio intercambiable, transformándolo en humatos de aluminio, que no son tóxicos para los vegetales (Primavesi, 1982).

Los abonos verdes no enriquecen el suelo con M O ni son fuentes de humus, pero aumentan la suma de bases beneficiando los cultivos. Su efecto consiste, especialmente en el suministro de nitrógeno orgánico y de sustancias de crecimiento. No se debe pensar en la sustitución de los fertilizantes químicos por los orgánicos, sinó en aumentar su efecto para la mejor absorción de nutrimentos de un suelo tratado con abonos. Es importante considerar que para obtener los beneficios de la aplicación de materiales orgánicos, estos deben encontrarse en estado de descomposición. En la Tabla 4 se resumen las condiciones ambientales que regulan la descomposición de la materia orgánica incorporada al suelo.

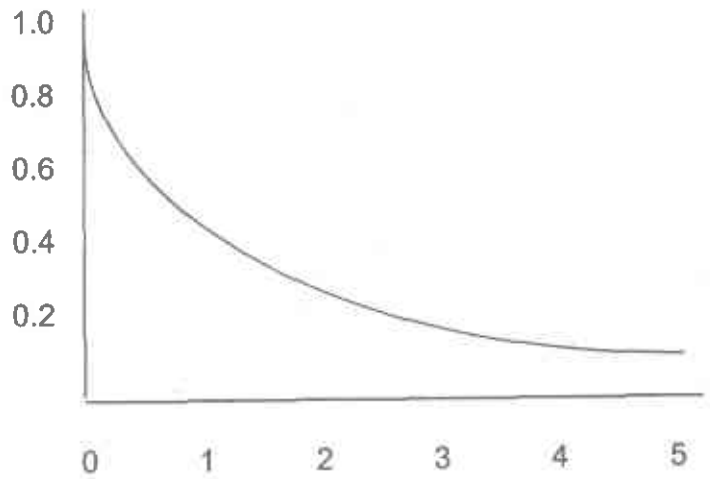
Tabla 4. Condiciones ambientales que regulan la descomposición de la materia orgánica incorporada al suelo.

| Factor ambiental | Condición favorable | Condición desfavorable |
|---|---|---|
| Relación C/N | 10 - 12 / 1 | > 25 - 30 / 1 |
| Relación C/P | < 200 / 1 | < 300 / 1 |
| pH | 6.0 - 7.2 | < 5.5 ó > 8.5 |
| Saturación con Al (%) | < 30 | > 60 |
| Balance nutricional | Altos en P, Ca, Mg, K, S, B, Fe, Mn. | Deficientes en P y Ca |
| Drenaje natural | Suelos bien drenados | Encharcado o mal drenado |
| Aireación | Suelo poroso, bien saturado con oxígeno (15-20%) | Condiciones anaeróbicas |
| Contenido de humedad | Entre 50 y 90% de capacidad de campo | Menos de 30% de CC o suelo saturado. |
| Temperatura | Entre 25 y 35 ° C | < 10 °C ó más de 40 °C. |
| Textura | Suelos livianos | Suelos pesados, (arcilla) |
| Estructura | *Granular, migajón* y bloques | Masiva, laminar, sin estruct. |
| Nivel freático | Profundo y estable | Alto y fluctuante que genere oxidación - reducción. |

Una vez incorporada la materia orgánica, su efecto es evidente sobre la conservación del agua del suelo (Figura 1), el control de la temperatura (Tabla 6), la erosión (Tabla 7), el rendimiento de los cultivos y la población de organismos edáficos.

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
DE COLOMBIA

Figura 1. Relación entre la evaporación relativa y el espesor de la capa de mulch.




La Tabla 5 permite observar los beneficios del mulch sobre la evaporación, almacenamiento y percolación de agua por el suelo. La Tabla 6 muestra la influencia del tipo de cobertura en la temperatura del suelo. Según Hanks et al, 1961 citado por Amézquita 1994, cualquier tipo de cobertura (mulch) disminuye la temperatura del suelo en relación con la que se presenta en el suelo desnudo. Los compuestos orgánicos presentan menor capacidad calórica que los minerales por lo tanto los valores de temperatura bajo cobertura de tamo son menores que bajo grava.

Tabla 5. Efecto de los residuos superficiales sobre la evaporación de un suelo. (Saxton et al, citados por Amézquita, 1994).

| Características | mm | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Día 351 | | Día 360 | |
| | Desnudo | Mulch | Desnudo | Mulch |
| Precipitación acumulada | 170 | 170 | 170 | 170 |
| Evaporación acumulada | 114 | 63 | 126 | 76 |
| Almacenam. en el perfil | 19 | 51 | 18 | 24 |
| Percolación acumulada | 37 | 56 | 26 | 70 |

Tabla 6. Influencia del tipo de cobertura en la temperatura del suelo (Hanks et al, 1961 citados por Amézquita, 1994)

| Profundidad del suelo (cm) | Temperatura (°C) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tipo de cobertura | | | |
| | Desnudo | Grava negra | Grava clara | Tamo |
| 1 | 33 | 31 | 27 | 22 |
| 4 | 30 | 29 | 27 | 22 |
| 16 | 27 | 27 | 24 | 21 |
| 64 | 22 | 22 | 20 | 18 |
| 152 | 16 | 16 | 16 | 15 |

En el control de la erosión, los residuos orgánicos también ejercen un efecto positivo ya que impiden el desprendimiento de los agregados y permiten que el agua ingrese al suelo en forma lenta y que permita infiltrarse dentro de este en un mayor tiempo de contacto ya que además el mismo mulch se convierte en una barrera contra la escorrentía.

En la Tabla 7 se presenta el efecto de la cobertura en la escorrentía y en la pérdida de suelo. Los datos correspondientes a suelo perdido (t/ha/año) y a escorrentía tanto en mm como en porcentaje permiten observar la acción positiva del mulch en la conservación de suelos y aguas. (Amézquita, 1994).

Tabla 7. Efecto de la cobertura en la escorrentía y en la pérdida del suelo. (10% de pendiente). (Lal, 1976).

| Promedio anual | Suelo desnudo | Suelo con mulch |
|---|---|---|
| | | |
| Suelo perdido (t/ha/año) | 232.6 | 0.2 |
| Escorrentía (mm) | 504.1 | 29.3 |
| Escorrentía (% de la lluvia) | 42.1 | 2.4 |

La aplicación de mulch es una práctica en favor de la conservación y el mejoramiento de las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo y por consiguiente tiene influencia positiva en el incremento de los rendimientos de los cultivos. Tabla 8

Tabla 8. Efecto de la aplicación creciente de mulch en la conservación de agua, en los rendimientos y en la toma de N, por maíz y soya (kg). (Power et al, 1986, citado por Amézquita, 1994)

| Cultivo | Residuos (%)* | Agua aprovechable (mm) | Rendimiento (Mg/ha) | N. tomado de | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Fertil | Residual** | Residuos | Suelo |
| Maíz | 0 | 178 | 2.64 | 4 | 5 | 0 | 73 |
| | 50 | 198 | 3.34 | 7 | 6 | 0 | 97 |
| | 100 | 223 | 3.67 | 7 | 6 | 2 | 114 |
| | 150 | 232 | 3.93 | 11 | 6 | 1 | 124 |
| Soya | 0 | 172 | 1.66 | 14 | 2 | 0 | 84 |
| | 50 | 204 | 2.04 | 21 | 2 | 1 | 124 |
| | 100 | 232 | 2.23 | 16 | 7 | 38 | 116 |
| | 150 | 224 | 224 | 20 | 6 | 63 | 106 |

* Porcentaje en peso de los residuos producidos por el cultivo anterior.
** Efecto residual de fertilizante del cultivo anterior.

El uso de residuos en comparación con los cambios en la población microbial ha sido estudiado por Doran, 1987, quien encontró que en los primeros 7.5 cm de suelo bajo labranza cero, el suelo contiene mayor número de microorganismos de todos los géneros y especialmente de organismos denitrificantes que bajo labranza convencional. La distribución de C-orgánico es diferente, acumulándose más en la parte superficial de los suelos bajo labranza cero (Black, 1973, citado por Amézquita, 1994), lo cual promueve la agregación, la actividad de las lombrices, la unión de microagregados por hifas fungales y produce una mayor concentración de raíces cerca de la superficie del suelo (Tisdall y Oades, 1982).

Gracias a la actividad de la biota del suelo y a otros procesos físicos y químicos los nutrimentos quedan disponibles para las plantas y para los demás organismos edáficos. A continuación se presentan algunos ejemplos de descomposición de compuestos orgánicos.
Descomposición de proteínas

**Aminización**

$$\text{Proteína } (NH_2) \xrightarrow[\text{heterotróficos}]{\text{bacterias hongos}} R - NH_2 + CO_2 + \text{Energía} + \text{otros compuestos}$$

**Amonificación**

$$R - NH_2 - H_2O \xrightarrow[\text{heterotróficos}]{\text{bacterias hongos}} NH_3 + R - OH + \text{energía}$$

El amoniaco producido en el proceso puede :

Convertirse en nitritos ($NO_2$-) y nitratos ($NO_3$-) por el proceso de nitrificación.
Ser absorbido directamente por las plantas superiores: **Absorción**
Utilizarse por los microorganismos del suelo dando origen a una deficiencia temporal de nitrógeno disponible: **Inmovilización**

Fijarse a las arcillas expandibles 2 :1 y amorfas del tipo alófano : **Adsorción**

**Nitrificación**

$$2NH^+_4 + 3O_2 \xrightarrow[\text{aeróbicas obligadas . Nitrosomonas}]{\text{Bacterias autotróficas}} 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+$$

$$2NO_2\text{-} + O_2 \xrightarrow[\text{aeróbicas obligadas . Nitrobacter}]{\text{Bacterias autotróficas}} 2NO_3\text{-}$$

El nitrógeno ($NO\text{-}_3$) producido durante la nitrificación puede :

Ser absorbido directamente por las plantas superiores
Inmovilizarse por la flora y la fauna del suelo llegando a crear una deficiencia temporal de nitrógeno disponible.

Formar sales muy solubles de potasio, calcio, magnesio y sodio, entre otras, y perderse fácilmente en cantidades apreciables en las aguas de percolación.
Denitrificarse biológicamente en condiciones anaeróbicas y convertirlo a formas gaseosas ($N_2$, NO, $N_2O$) que se pierden en la atmósfera.

Considerando todas las ventajas de los procesos antes descritos, es esencial el retorno de la materia orgánica al suelo y su aplicación periódica es indispensable. Su efecto principal lo ejerce sobre la bioestructura y para que esto sea posible se requiere la incorporación superficial de materiales celulósicos, además de cantidades adecuadas de fósforo y calcio para que se generen los efectos benéficos de la materia orgánica. Otro aporte de la materia orgánica a la sanidad vegetal es la producción de sustancias fungistáticas como fenoles y permitir la producción de antibióticos por bacterias. (Primavesi, 1982). En el control de los animales del suelo, la M. O. juega un relevante

papel ya que todos los animales con excepción de los depredadores, aumentan la humificación.

En suelos con bajos contenidos de materia orgánica se crean condiciones favorables para la aparición de plagas. La rotación de cultivos, acompañada de la incorporación superficial de residuos, modifica la fauna del suelo, reduciendo plagas y eliminando situaciones extremas. Otra práctica que favorece la diversidad de la fauna en el suelo es la cobertura con un cultivo protector, o en *épocas de sequía, con cobertura muerta como el mulch*, porque no solo se mantiene la estructura del suelo sinó también una vida benéfica en el mismo. Controlando las bacterias mediante una drástica reducción por amebas, se proporciona alimento a los hongos parásitos como los **Phycomicetos** que se alimentan de amebas, evitando que ataquen las plantas. La asociación de cultivos con leguminosas ya mejora bastante el equilibrio biológico del suelo. Entre los métodos que más benefician a una vida terrestre variada están la labranza cero, sombrío del suelo, fertilizante fosfatado y encalado, suplemento adecuado de potasio e incorporación superficial de restos de cultivos, las anteriores son medidas capaces de controlar eficazmente bacterias, hongos, nemátodos e insectos. Se debe tratar de conseguir un número grande de especies de seres vivos en el suelo con una cantidad de ejemplares reducida en cada una, evitando la proliferación de parásitos.

Mientras no sea *modificado el ambiente, la especie indeseable o nociva atacará*, cada vez con formas más resistentes, ya que según la ley de la naturaleza, es ilógico combatir a la especie sin modificar las condiciones que la favorecen. La vegetación de un lugar es uno de los medios para modificar la fauna edáfica, por ejemplo con la aplicación de un abono verde prolifèran hongos que atrapan nemátodos y hongos patógenos. La paja en el suelo aumenta, por lo general, las poblaciones de ácaros, hormigas y arañas, de modo que contribuye a la limpieza del terreno, eliminando innumerables animales perjudiciales.

En el control y manejo de la fauna del suelo, específicamente en el cultivo del banano, la fusariosis (*Fusarium oxysporum*, F. sp. cubense), que causa el marchitamiento del banano, puede ser interrumpida por la secreción de un insecto (*Scaptoris divergens*) que roe la raíz de la planta. Existen muchos ejemplos de control biológico, pero es un error *pensar que cada patógeno y cada plaga* es un ser aislado y combatirlo como tal, ya que en el suelo siempre existe un equilibrio dinámico.

"Para la fauna del suelo es mejor manejar que querer exterminar. Los agroquímicos defensivos son indispensables en la agricultura moderna, pero solo en casos de emergencia, en los que el manejo correcto del suelo ha fallado".

**BIBLIOGRAFIA**


1. Alexánder M. 1980. Introducción a la Microbiología del suelo Trad. Del ingles por Juan José Peña. México AGT de. 372 - 390 pp.

2. Amézquita, E. 1994. Residuos orgánicos superficiales mulch, su importancia en el manejo de los suelos. VII Congreso Col. Ciencia del Suelo. P. 9 - 15.

3. Bolaños, B. M.M. 1996. Identificación de hongos micorricico arbusculares y su relación con propiedades físicas y químicas de los suelos en la zona cafetera colombiana. Tesis de M. Sc en Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá. D.C.

4. Boyle, K. E, Curry, J.P. y Farrell, E. P. 1997. Influence of eartworms on soil properties and grass production in reclaimed cutover peat. In Biol Fertil Soils 25 : 20 - 26.

5. Burbano, O. H. 1990. *Interacciones de la materia organica y los elementos menores. En Actualidad y futuro de los micronutrimentos en la agricultura*. Soc. Col. C. S. Pag. 54 - 81.

6. ———— 1994. La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible en: fertilidad de suelos Diagnóstico y control. Soc. Col. C. S. Santafé de Bogotá.

7. Dibut, A. B. et al, 1995. Efecto de la doble función de Azotoryza en banano (Musa spp) condiciones experimentales. En Infomusa. Vol. 5, No 1.

8. García, O.A. 1990. Efectos tóxicos de los micronutrientes y de otros elementos. En : Actualidad y futuro de los micronutrimentos en la agricultura, pág. 23 - 53.

9.Guerrero R. R y Montenegro, V. C. 1994. Respuesta de la papa (SalanumTuberosum, L) al reabonamiento con nitrógeno y azufre en Andisoles de Nariño. En suelos Ecuatorianos. Vol 24.

10 Guill, W. R. 1971, Economic ascessment of soil compaction Em: Barres, compaction of agricultural soil de Amer. Soc. Agric. Engin. St Joseph, Michigan.

11 Glauser, R. eH. Jenny, 1960, Twer phase studies on availability of iron in calcareos soil. Agrochim 4:263-71
12. Harper, S.H.T. and Lynch, L.M. 1980. Microbial effects on the germination and grass seedlins growth of barley. New Phytol. 84, 473 - 481.

13. Hernández, N. A. Perez, E. y Dibut, B. 1994. "Nitrobacterias y Bioestimulantes" su uso en Cuba y experiencia en Colombia. Memorias VII Congreso Col. Ciencia del Suelo.

14. Högber. P. and Nulundm J.E., 1981. Ectomycorrhizae in coastal miombo woodland of tanzania. Plant Soil 63, 283 - 289.

15. ICA, 1992. Fertilización en diversos cultivos, quinta aproximación. Bogotá, 64 p.

16. IGAC. 1996. Suelos departamento del Quindio. 206 p.

17. Janssen K., y Whitney D. 1996. Efectos de la remoción de residuos y de la fertilización en el rendimiento de los cultivos y en la sostenibilidad del suelo en : Inf . Agronómicas No. 22 INPOFOS.

18. Janssen, K., and D. Whitney. 1995. Crop residue removal and fertilizer effects on corp yield and soil sustainability. Better Crops 79 (2) : 4 - 6.

19. Kirchner, M.J., A.G. Wollum II, and L.D. King 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am, J. 57 : 1289 - 1295.
20. López, F.Y. 1990. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En : Seminario Actualidad y futuro de los micronutrimentos en la agricultura. Palmira, octubre 24-26 de 1990. Pág. 1 -13.

21. Lora, S. R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Soc. Col. Ciencia del Suelo. 528 p.

22. Marschner, H., 1986. Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press INC London.

23. Martin, P. and Glatzle, A. 1981. Mutual influences of Azospirillum spp. and grass seedlings. In : "**Azospirillum**, Genetics, Physiology, Ecology Workshop. Bayreuth" (W. Klingmüller, de.), pp. 108 - 120. Birkhäuser - Verlag.

24. Maryniuk, S., and G.H. Wagner. 1978. Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. Soil Sci, 125 : 343 - 350-

25. Okon, Y. 1994. Promoción del crecimiento vegetal por bacterias colonizadoras de la raíz. VII Congrso Colombiano de la Ciencia del Suelo.

26. Orozco, P. F. H. 1994. "Recuperación" Biológica de lo suelos. Congreso Col. Ciencia del Suelo. P. 48 - 59.

27. Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico do solo. Agriculture in Regioes Tropicais, Sao Pablo, Nobel. 541 p.
28. Rovira, A . D., Bowen, G. D. and Foster, R.C. 1983. The significance of rhyizosfphere microflora ans mycorrhizas in plan nutrition. In : "Encyclopedia of Plan Physiology, New Series". Vol. 15 A. pp 61 - 89. New York.

29. Schrener, R. P and Bethlenfalvay, G. J. 1997. Mycorrhizae, biocides and biocontrol 3. Effect of three different fungicides on developmental stages of three A.M. fungi. In : Biol. Fertil . Soils. 24 : 18 - 26.

30. Tinker, P. B. 1984. The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients fron soil. Plant Soil 76. pp 77 - 91.

31. Tisdall, J. M. y Oades, J. M. 1982. Organic Matter and water stable aggregates in soils. Journal of Soil Sci. 33 : 11 -163.

32. Treonis, A. M. and Lussenhop, J.F. 1997. Rapid response of soil protozoa to elevated $CO_2$ in : Biol. Fertil Soils (25) : 60 - 62.

33. Van Ree, J. A. e S Nathans, 1973. Ecológical aspects of earthworn populations in relation to wather condictions Rev. Ecol. Biol. Sol. 10 (4): 523-34.

34. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidadtion in soil. Advances in Agronomy. Vol.37.349-396 p.