

Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal.

Ing. Mario Delgado Higuera

* Investigación Aplicada + Desarrollo **ORIOUS**.

BIOTECH. mariodelgado@orius.com.co. Villavicencio. COLOMBIA.

Los microorganismos son los componentes más importantes del suelo. Constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. La diversidad de microorganismos que se encuentran en una fracción de suelo cumplen funciones determinantes en la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos que se le incorporan. Esto permite comprender su importancia en la nutrición de las plantas al efectuar procesos de transformación hasta elementos que pueden ser asimilados por sus raíces. La humificación de la materia orgánica es un proceso netamente microbiológico.

La microflora del suelo está compuesta por bacterias, actinomicetos, hongos, algas, virus y protozoarios. Entre las funciones más importantes que cumplen asociadamente en los procesos de transformación están:

- Suministro directo de nutrientes (Fijación de nitrógeno).
- Transformación de compuestos orgánicos que la planta no puede tomar a formas inorgánicas que si pueden ser asimiladas (Mineralización). Ejemplo: Proteína hasta aminoácidos y a nitratos.
- Solubilización de compuestos inorgánicos para facilitar la absorción por las plantas. Ejemplo. Fosfato tricálcico a Fosfato monocálcico.
- Cambios químicos en compuestos inorgánicos debido a procesos de oxidación y reducción. Ejemplo. Oxidación del azufre mineral a sulfato. Oxidación del nitrógeno amoniacal a nitrato.
- Aumento del desarrollo radicular en la planta que mejora la asimilación de nutrientes, la capacidad de campo y el desarrollo.
- Reacciones antagonicas, parasitismo y control de fitopatógenos.
- k Mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

La mayor actividad de los microorganismos se realiza desde la superficie del suelo hasta unos 20 centímetros de profundidad. Las colonias de microorganismos permanecen adheridas a las partículas de arcilla y humus (fracción coloidal) y a las raíces de las plantas que les suministran sustancias orgánicas que les sirven de alimento y estimulan su reproducción. Estas exudaciones dependen del buen estado nutricional de la planta y así favorecen el crecimiento de los microorganismos que son importantes para ella. Su actividad y su desarrollo están asociados a la disponibilidad de los substratos a transformar. La colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas dependen de la función que se está cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de

proteínas, amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización). Por lo tanto, mientras algunos microorganismos actúan sobre un sustrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación. Cuando terminan su función sobre la degradación del sustrato, los grupos microbianos que estaban actuando principalmente disminuyen al máximo, se reproducen o entran en latencia y se incrementa la población de otros que cumplirán funciones de transformación en los productos del metabolismo del grupo microbiano anterior. Cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es una etapa en la descomposición de un material orgánico o inorgánico. Una mayor cantidad de microorganismos en el suelo permite una mejor actividad metabólica y enzimática para obtener plantas bien nutridas con buena capacidad para producir.

Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutrientes disponibles para la planta o una población microbiana que este liberando nutrientes en forma permanente hasta alcanzar un balance que permita un buen desarrollo vegetal.

LAS BACTERIAS DEL SUELO

Son los microorganismos más abundantes y pequeños (0,1 a 1 micras). Pueden ser aerobias (crecen con oxígeno), anaerobias (crecen sin oxígeno) o facultativas (crecen con o sin oxígeno). Pueden tolerar pH ácido (acidófilas), pH básico (basófilas) o pH neutro (neutrófilas). En suelos ácidos algunas bacterias neutrófilas tienen la capacidad de neutralizar el suelo donde se están desarrollando para cumplir su función.

Si las bacterias se alimentan de compuestos orgánicos son heterótrofas. Si se alimentan de inorgánicos, son autótrofas. Las que se desarrollan a temperaturas medias (15 a 40 grados centígrados) son mesófilas, a temperaturas menores a 15 grados centígrados son psicrófilas y a temperaturas mayores a 40 grados centígrados son termófilas. La mayoría de las bacterias del suelo que son importantes para las plantas son heterótrofas, aerobias y mesófilas.

Algunas bacterias producen endósporas y quistes latentes que les proporcionan resistencia a las variaciones de temperatura, los niveles extremos de pH y a la desecación del suelo. De esta forma pueden crecer de nuevo cuando encuentran condiciones favorables. Otras se protegen de la depredación y de la desecación emitiendo una cápsula de sustancias mucoides. Otras se desplazan en la solución del suelo mediante un flagelo para encontrar más fácilmente el sustrato alimenticio.

Su capacidad de multiplicación les permite crear poblaciones muy grandes en un tiempo muy corto, colonizando rápidamente los sustratos a degradar. La clase y abundancia de bacterias presentes en una fracción de suelo dependen de los sustratos que la compongan y de sus condiciones (suelo ácido, con materia orgánica alta, anegado, de sabana, etc). Los grupos bacterianos que actúan primero sobre los sustratos disponibles son dominantes hasta que termina su acción y luego dan oportunidad a que otros grupos crezcan en el residuo del metabolismo de los

primeros. Por lo tanto hay grupos bacterianos que permanecen y otros que entran en latencia hasta que encuentran condiciones favorables para su crecimiento. Las bacterias tienen especial importancia en la relación suelo-planta y son responsables del incremento o disminución en el suministro de nutrientes.

Los suelos agrícolas que están sometidos a la mecanización continua, al monocultivo, al riego, a la aplicación de agroquímicos y fertilizantes de síntesis, a la compactación y a las quemas, tienen una flora microbiana muy baja que afecta su fertilidad.

Las bacterias beneficiosas del suelo son indispensables para recuperar la estructura perdida por las prácticas agrícolas, para hacer disponibles los nutrientes que hay en el suelo y para incorporarle la materia orgánica que necesita para mejorar la fertilidad.

Entre los géneros bacterianos más importantes agrícolamente por la transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus*, y *Rhizobium*.

ACTINOMICETOS DEL SUELO

Son microorganismos que se parecen a los hongos y a las bacterias. Crecen a manera de micelio radial, forman conidias como los hongos pero las características morfológicas de sus células son similares a las de las bacterias. Se encuentran en el suelo, las aguas estancadas, el lodo y los materiales orgánicos en degradación. Se nutren de materiales orgánicos (heterótrofos). Degradan desde azúcares simples, proteínas, ácidos orgánicos hasta substratos muy complejos compuestos por hemicelulosas, ligninas, quitinas y parafinas. Por esto son importantes en el proceso de transformación hasta la obtención del humus en el suelo. Además son considerados como los mejores agregadores del suelo, pues son muy eficientes produciendo sustancias húmicas.

En suelos bien aireados con alto contenido de materia orgánica alcanzan poblaciones muy altas. Constituyen del 10 al 50% de la comunidad microbiana del suelo. Se desarrollan bien en suelos con pH desde 5 hasta 7. Se reproducen por conidias y estas son resistentes a condiciones difíciles de temperatura, acidez y humedad. Esto les permite germinar cuando se restablecen las condiciones favorables para su desarrollo. En suelos secos los actinomicetos se comportan muy bien.

Algunos actinomicetos producen antibióticos que regulan los patógenos de las plantas que están en el suelo. Al agregar conidias de actinomicetos en un suelo contaminado con bacterias y hongos fitopatógenos, crecen inhibiendo las poblaciones de los patógenos, regulando los problemas hasta alcanzar un balance que le permita a las plantas obtener nutrientes y desarrollarse.

Los géneros de actinomicetos del suelo más importantes para la nutrición de las plantas son: *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermoactinomyces*, *Frankia* y *Actinomyces*.

HONGOS DEL SUELO

Conforman una importante fracción de la biomasa total microbiana del suelo. Crecen en forma de red extendiéndose como micelio hasta su estado reproductivo donde dan origen a esporas sexuales o asexuales. Son importantes degradadores aerobios de material vegetal en descomposición en suelos ácidos. Producen enzimas y metabolitos que contribuyen al ablandamiento y a la transformación de sustancias orgánicas. También estas enzimas forman parte de la actividad de otros microorganismos.

Los hongos metabolizan compuestos carbonados de muy difícil degradación como las celulosas, las hemicelulosas y las ligninas. También degradan azúcares simples, alcoholes, aminoácidos y ácidos nucleicos. Pueden ser parásitos o saprofitos. Son muy importantes en suelos con desechos de cosecha. Su crecimiento ramificado rápido y la intensa actividad degradadora les permiten mantener un equilibrio en los ecosistemas del suelo.

Las raíces de las plantas están pobladas de hongos que aprovechan las exudaciones radiculares constituidas por azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, nucleótidos, enzimas, vitaminas y sustancias promotoras de crecimiento. Los hongos movilizan nutrientes minerales hacia las raíces de las plantas, aumentan la capacidad de retener agua en sequía, fijan nitrógeno y fósforo y protegen las raíces de fitopatógenos por espacio y emitiendo sustancias que los inhiben. Los hongos son muy activos en las plantas y prefieren los azúcares que estas segregan por las raíces. También toman aminoácidos.

Algunos hongos entran en simbiosis con las raíces llamadas micorrizas. Son más activos en suelos arenosos y pobres en materia orgánica. La simbiosis se ve favorecida por la pobreza mineral del suelo.

Los géneros de hongos más importantes asociados a las raíces de las plantas son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. El *Aspergillus* y el *Penicillium* movilizan el fósforo y el nitrógeno del suelo. El *Trichoderma* sostiene la humedad en las raíces en condiciones de sequía.

Algunas levaduras son importantes fermentadoras de carbohidratos produciendo alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía. Entre los géneros más importantes están el *Saccharomyces* y el *Rhodotorula*.

MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENO NO SIMBIÓTICO

Son la fuente primaria del suministro de nitrógeno a las plantas. Son fijadores del nitrógeno atmosférico. Algunas bacterias, actinomicetos y algas verde azules (cianofíceas) reducen el nitrógeno atmosférico a nitrógeno amoniacal y lo incorporan al suelo. Entre los géneros de bacterias aerobias nitro fijadoras están Azotobacter, Azospirillum, Beijerinckia, Derxia, Azomonas, y Oscillatoria.

La mayor actividad de las nitro fijadoras se alcanza con una humedad adecuada en el suelo y con una fuente de carbono accesible como el material vegetal en descomposición (pajas, socas o subproductos de cosecha). Por esto siempre están acompañadas por bacterias celulolíticas. Necesitan de alcoholes, azúcares o ácidos orgánicos que se les suministran otros microorganismos degradadores. El desarrollo de las nitro fijadoras se estimula con las exudaciones que emite la planta cuando se encuentra bien nutrida.

Las bacterias del género Azotobacter tienen movimiento y forman quistes cuando encuentran condiciones difíciles. Pueden fijar 40 kilogramos de nitrógeno por hectárea equivalente a 200 kilogramos de sulfato de amonio. Se han encontrado en suelos ácidos (5.5 de pH) y alcalinos, pero prefieren los neutros.

Las bacterias del género Azospirillum son móviles y crecen en suelos con pH cercanos a neutro. En gramíneas actúan muy bien *A. lipoferum* y *A. brasilense*. No solo están en la superficie de las raíces sino que las penetran e influyen en la nutrición de las plantas. Además producen sustancias promotoras del crecimiento vegetal.

Las bacterias del género Clostridium pasterianum son anaerobias y se reproducen por esporas cuando encuentran condiciones difíciles. Crecen en suelos anegados, compactados y en sitios donde se dificulta la circulación de aire en el suelo. Toleran una acidez alta (hasta 4) y fijan entre 3 y 10 miligramos de nitrógeno por gramo de fuente de carbono consumido. Son importantes en suelos saturados de agua como el cultivo del arroz donde suministran nitrógeno en el anegamiento.

Las algas realizan fotosíntesis y fijan al suelo entre 25 y 50 kilogramos de nitrógeno por hectárea en un año. También agregan sustancias carbonadas al suelo que estimulan el desarrollo de otros microorganismos. En cultivos de arroz se comportan muy bien por la humedad, iluminación y temperatura adecuadas.

Las bacterias nitro fijadoras también actúan en las hojas de las plantas. Se desarrollan poblaciones de las bacterias Pseudomonas, Azotobacter, Beijerinckia y también del actinomiceto Streptomyces. A partir de las exudaciones foliares estas forman nódulos en las hojas para fijar el nitrógeno, degradan los materiales orgánicos que se depositan sobre ellas, producen enzimas de crecimiento para la planta y segregan antibióticos que protegen las hojas de los ataques de los fitopatógenos. Se han reportado fijaciones hasta de 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea.

MICROORGANISMOS NITROFIJADORES SIMBIÓTICOS

Los Rhizobium son bacterias noduladoras que fijan simbióticamente el nitrógeno en algunas leguminosas. Los actinomiceto Frankia y Actinomyces nodulan en plantas de porte arbustivo o arbóreo. Los Rhizobium son móviles en estados jóvenes y forman esporas cuando se encuentran en condiciones difíciles. Crecen entre 0 y 47 grados centígrados. El crecimiento óptimo entre 20 y 30 grados centígrados. El pH donde se desarrollan mejor está entre 4,5 y 7,5. Son aerobios aunque toleran escasez de oxígeno por un tiempo moderado.

La simbiosis entre el microorganismo y la planta se fundamenta en que el primero recibe carbohidratos de la planta y este le suministra nitrógeno después de su muerte. Si la planta está mal nutrida, no está en condiciones de proveer carbohidratos a los microorganismos y por lo tanto no segrega la sustancia que estimula la atracción para que las raíces sean infectadas por los rizobios. Hay una asociación entre las rizobacterias y las nitro fijadoras no simbióticas como el Azotobacter que incrementan el suministro de nitrógeno a la planta. Además los microorganismos degradadores de fósforo y calcio contribuyen a la fijación del nitrógeno al suministrarle estos elementos que son importantes para el desarrollo de los rizobios y para que la planta al estar bien nutrida les suministre exudaciones importantes para los microorganismos.

LOS MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE LA UREA

Al aplicar la urea al suelo se hidroliza y para su solubilización necesita la presencia de la enzima Ureasa que es producida por las bacterias, actinomicetos y hongos. Con la reacción de la enzima, la urea se transforma en amonio y se fija a los complejos minerales del suelo donde luego es nitrificado por los microorganismos.

Las urobacterias son aerobias y actúan con la alcalinización que causa la urea al aplicarse al suelo. Los géneros más importantes son: Bacillus, Clostridium, Pseudomonas, Micrococcus, Acromobacter y Sarcina.

En suelos con poca fertilidad y una población baja de microorganismos la asimilación del amonio o su nitrificación es mínima y por lo tanto se necesitan aplicaciones frecuentes de urea para suplir las necesidades de nitrógeno en un cultivo establecido. El restablecimiento de una flora microbiana permite una mayor asimilación del nitrógeno por las plantas y por lo tanto la cantidad a utilizar puede ser menor.

LA NITRIFICACIÓN

El Nitrógeno del suelo se encuentra presente como diferentes compuestos químicos, pero la mayor parte forma compuestos orgánicos (materia orgánica del suelo). Solo del 5 al 10% del nitrógeno total se encuentra como formas inorgánicas: Amonio (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-). El Nitrito y el Nitrato se encuentran en la solución del suelo, mientras que el amonio (catión) se encuentra como intercambiable o fijado a la estructura de algunos minerales.

El Nitrógeno, bajo las diferentes formas en que se encuentra en el suelo, es el elemento más susceptible de transformación por acción de los microorganismos. Estas transformaciones ocurren simultáneamente y en diverso sentido, formando el ciclo del Nitrógeno en el cual hay aportes o pérdidas al suelo, o cambio de un estado a otro. La nitrificación es un proceso bacterial y aeróbico .

Las bacterias nitrificantes más importantes son Nitrosomas europaea y Nitrobacter winogradski . Las primeras oxidan Amónio a Nitrato y las segundas oxidan Nitrito a Nitrato, haciendo disponible el nitrógeno para las plantas. Hay otros microorganismos que también oxidan los substratos nitrogenados a Nitritos y Nitratos. Entre las bacterias están los géneros Bacillus, Pseudomonas y Clostridium . Los actinomicetos nitrificadores son Streptomyces y Nocardia y los hongos Aspergillus y Penicillium.

MICROORGANISMOS QUE TRANSFORMAN EL FÓSFORO

La movilización del fósforo en la naturaleza lo hacen los microorganismos, ya que participan en la disolución y transformación del elemento hasta combinaciones asimilables por las plantas y también en la fijación temporal.

Cuando se incorporan al suelo residuos de cosecha, materiales orgánicos, enmiendas, estiércol, se agregan gran cantidad de compuestos órganofósforados. El fosfato orgánico es hidrolizado por la enzima fosfatasa que segregan los microorganismos y libera el fosfato, para que sea asimilado por la planta.

Las bacterias Bacillus megaterium , Bacillus mesentericus y Pseudomona putida solubilizan las formas orgánicas del fósforo (ortofósforo) y las transforman a fosfatos asimilables por las plantas. Los hongos del género Aspergillus, Penicillium y Rhizopus degradan ácidos nucleicos y glicerofósforatos a fosfatos simples. Las levaduras del género Saccharomyces y Rhodotorula cumplen la misma función que los hongos. El actinomiceto Streptomyces destruye las moléculas orgánicas fósforadas liberando así el fósforo.

En los suelos de reacción ácida predominan los fosfatos insolubles de hierro y de aluminio. Cuando se han utilizado enmiendas cálcicas se fija el fósforo como fosfato tricálcico. Las bacterias de los géneros Pseudomonas, Achromobacter, Micrococcus, Aerobacter solubilizan fosfatos inorgánicos en el suelo. Los hongos Aspergillus, Penicillium y Rhizopus solubilizan fosfatos tricálcicos y rocas fosfóricas. En condiciones aeróbicas la degradación de la materia orgánica libera grandes cantidades de CO₂ como producto de la actividad respiratoria de los microorganismos y que al reaccionar con el agua y los fosfatos insolubles los transforma en fosfatos solubles así:

- Fosfato tricálcico: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2 + \text{Ca}(\text{PO}_4\text{H}_2)_2$
Fosfato monocálcico.

- Fosfato dicálcico: $2\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{PO}_4\text{H}_2)_2$
Fosfato monocálcico.

En condiciones anaerobias (anegamiento, compactación) en la degradación de la materia orgánica se liberan ácidos orgánicos como el ácido málico, ácido tartárico, ácido cítrico, ácido butírico, los cuales solubilizan los fosfatos de hierro y aluminio. Estos ácidos también solubilizan la roca fosfórica.

MICROORGANISMOS QUE TRANSFORMAN EL AZUFRE

El azufre es esencial en la nutrición de las plantas pues participa en la formación de aminoácidos y vitaminas. Las plantas lo asimilan como sulfato. La descomposición de la materia orgánica por los microorganismos trae la degradación de aminoácidos hasta obtener sulfatos. También se degradan sulfatos orgánicos. Las bacterias del género *Thiobacillus* oxidan a sulfato el sulfuro que produce en condiciones de anegamiento y que es tóxico para las plantas. Además oxidan a sulfato el azufre elemental, compuestos de azufre como tiosulfato, tetrionato y sulfito a sulfato. Se desarrollan en medios aerobios con pH ácidos y extremadamente ácidos (2-3), forman ácido sulfúrico en la oxidación para aumentar la acidez.

Las bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arrobacter* convierten el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato. Los hongos del género *Aspergillus* oxidan el azufre en polvo.

MICROORGANISMOS QUE MOVILIZAN EL POTASIO

El potasio es retenido por los constituyentes del suelo, pero sólo una parte es soluble y otra gran fracción se fija quedando no intercambiable.

Bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, y *Clostridium* y hongos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Mucor* solubilizan el potasio mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicato y liberan parte del potasio contenido en ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, Martín. Introducción to soil microbiology. 1980. 481 p
- BURBANO, Hernán. El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. 1989. 423p.
- CIAT - UNDP. Simbiosis leguminosa - rizobio. 1988. 200p.
- GRAHAM, P. H. and HARRIS, S. C. Biological nitrogen fixation. 1982. 768 p.

- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 1984. 253 p.
- PRIMAVESI, Ana. Manejo ecológico del suelo. 1982. 499 p.
- SALAMANCA, Rafael. Suelos y fertilizantes. 1984. 343 p.