

LA MATERIA ORGANICA (MOS) Y SU PAPEL EN LUCHA CONTRA LA DEGRADACION DEL SUELO

Alvaro García O.¹

INTRODUCCION

La descomposición de residuos de plantas y animales en el suelo es un proceso biológico que involucra la asimilación parcial del carbono (C) por la biomasa del suelo, la recirculación de la mayor parte hacia la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂), y la transformación y polimerización del restante a materiales de elevado peso molecular conocidos como Humus. La composición del humus ha sido objeto de investigación por muchos años, y a pesar de lo que se ha avanzado recientemente todavía hay mucho por conocer.

Al tiempo que se sintetizan nuevos materiales húmicos, una fracción del humus nativo es mineralizado por la microbiota produciendo efectos estructurales en el suelo y liberando algunos nutrientes. El nitrógeno (N) se transforma en amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻), formas disponibles para las plantas y otros organismos, y los elementos asociados (Ca, Mg, K, P, S, y varios micronutrientes) pasan a formas solubles (solo una pequeña porción es soluble en agua, pero en su mayoría soluble en bases fuertes) o intercambiables a disposición de las plantas superiores. Entonces, el contenido total de la MOS se encuentra en un estado estable en función del suelo, las condiciones ambientales y de manejo.

Los residuos en el suelo pueden ser de varios tipos:

Restos orgánicos frescos: Constituido por compuestos como hidratos de carbono simples y compuestos, azúcares, almidones, aminoácidos, proteínas, ácidos orgánicos, ceras, resinas, lignina, etc., que constituyen en los suelos el 10-15% de la reserva total de materia orgánica del suelo.

Sustancias en proceso de descomposición: Comprende productos de descomposición y de la actividad de la población microbiana en distintos estados de transformación.

Sustancias húmicas: Producto de la actividad de los distintos grupos de organismos que incluye procesos de polimerización complejos que hacen que el producto final no tenga ninguna similitud con los residuos frescos pero que presenta atributos que confieren al suelo las propiedades que lo capacitan para albergar la vida: estructura, aireación, capacidad de retención de humedad, capacidad de intercambio de iones, resistencia a las condiciones ambientales. Este grupo de sustancias en los suelos minerales constituye hasta el 85 - 90% de la reserva total de materia orgánica del suelo. El grado de descomposición y la velocidad de transformación de los residuos frescos que se incorporan al suelo dependen de su composición química, de las condiciones del medio y del ambiente en general, dado que estos factores influyen en la actividad microbiana.

Los tejidos vegetales en general están constituidos por las mismas sustancias: ceras, grasas, resinas, proteínas, carbohidratos, lignina, etc. en proporciones variables según la especie vegetal y el estado vegetativo. Este hecho afecta marcadamente el proceso de descomposición. En la Tabla 1 se presenta la composición aproximada de algunos tipos de contribuyentes a la MOS del suelo (Kononova, 1982) y en la Tabla 2 una comparación entre organismos animales y vegetales y algunas excretas que muestra una relativa constante en el contenido de carbono de plantas y animales, lo cual considerado desde el punto de vista de contenido de energía implica un valor de aproximadamente 20 kJ/ g materia orgánica (Jenkinson, 1981).

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Presidente electo Comisión Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas de la Unión Internacional de Sociedades de la Ciencia del Suelo (IUSS). Correo electrónico: agarcia58@yahoo.es

Tabla 1. Composición química aproximada de organismos vegetales superiores e inferiores (% en base seca).

	Ceras	Proteínas	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
LEGUMINOSAS					
Rafces	10-12	10-15	20-25	25-30	10-15
Hojas	---	12-20	15	10-12	5
GRAMINEAS					
Rafces	5-12	5-10	25-30	25-30	15-20
ARBOLES					
Madera	-	0.5-1	40-50	20-30	20-25
Hojas	3.5	4-10	15-25	10-20	10
CONIFERAS					
Madera	---	0.1-1	45-50	15-25	25-30
Hojas	20-25	5-7	20	15-20	15
MUSGOS	---	5-10	15-25	30-60	no hay
LIQUENES	---	3-5	5-10	60-80	8-10
ALGAS	---	10-15	5-10	50-60	no hay
BACTERIAS	---	40-70	no hay	---	no hay

Fuente: Kononova, 1982.

Distintos grupos de organismos transforman los residuos vegetales y animales en el suelo, entre ellos se pueden mencionar ácaros, sinfilidos, nemátodos, insectos, lombrices, bacterias, protozoarios, hongos, etc.). Cada grupo realiza una función específica de tipo mecánico, oxidativo, de solubilización, de hidrólisis o de transformación a moléculas compuestas y polímeros. Estas desintegraciones y politransformaciones ocurren influenciadas por las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, viento, precipitaciones atmosféricas y reacción suelo.

Esa compleja asociación de microorganismos que trabajan en forma secuencial. Inicialmente, actúan grupos de bacterias sobre los materiales orgánicos más solubles como azúcares, aminoácidos, proteínas, etc., luego comienzan a ser sustituidos por otras bacterias esporógenas, capaces de usar compuestos más complejos, almidones, celulosa, etc. Hacia el final del proceso se observa un abundante desarrollo de hongos, especialmente actinomicetos, los cuales son capaces de realizar transformaciones muy complejas.

Tabla 2. Análisis elemental de algunas plantas, animales, abono de establo (en base seca).

Item	Especies	% C	% N	% P	% S	% K	Referencia
Bacteria	<i>Escherichia coli</i>	50	15	3.2	1.1	---	Roberts <i>et al.</i> (1955)
Actinomycetes	<i>Streptomyces clavuligerus</i>	50	11	1.5	0.4	1.8	Jenkinson and Pruden (1976)
Levaduras	<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	47	6.2	0.7	0.3	2.0	Jenkinson and Pruden (1976)
Hongos	<i>Penicillium chrysogenum</i>	44	3.4	0.6	0.4	0.6	Jenkinson and Pruden (1976)
Lombriz	<i>Lumbricum terrestris</i>	46	10	0.9	0.8	1.1	Jenkinson and Pruden (1976)
Hombre	<i>Homo sapiens</i>	47	8	2.6	0.7	0.5	ICRP (1959)
Maíz	<i>Zea mays*</i>	44	1.4	0.20	0.17	0.9	Miller (1938)
Kale	<i>Brassica cleracea*</i>	42	4.3	0.45	1.6	2.5	Bowen (1967)
Avena	<i>Avena sativa*</i>	---	1.9	0.22	0.12	2.4	Boresch 1936)
Lucerna	<i>Medicago sativa*</i>	45	3.3	0.28	0.44	0.9	Bertrand (1939)
Madera	<i>Picea excelsa (leño)</i>	---	0.13	0.006	0.005	0.03	Boresch (1936)
Abono de establo		37	2.8	0.54	0.70	5.1	Jenkinson and Pruden 1976)

Tomado de Jenkinson (1981)

El almidón y la celulosa desaparecen rápidamente, la hemicelulosa y las proteínas son usadas en una síntesis secundaria. De esta manera, los restos vegetales ricos en hidratos de carbono, con buen contenido de proteínas y bajos en lignina se descomponen en más rápidamente y en mayor proporción. Por el contrario, materiales vegetales altos en lignina, materiales aromáticos y resinas como el pino son de difícil descomposición.

La demanda de N por la población microbiana durante la descomposición es elevada. Si los materiales en descomposición contienen menos de 1.2 - 1.3% de N, los microorganismos usan N del suelo (inmovilización) y cuando el contenido es superior a 1.8 % de N hay liberación de N al suelo. Los restos vegetales con un contenido entre 1.2-1.8% de N, en general no tienen un efecto notorio sobre el N del suelo (Jenkinson, 1981).

El tipo de suelo influye marcadamente sobre el proceso de descomposición y posterior transformación de los restos orgánicos frescos en sustancias húmicas, ya sea determinando la especie vegetal o la actividad de los microorganismos. En suelos ácidos de climas fríos y húmedos la descomposición es lenta e incompleta mientras que suelos ricos en materia orgánica, profundos, de buenas condiciones físicas, buena aireación y pH cerca de la neutralidad, la descomposición es rápida. Si hay condiciones de reducción se produce acumulación de materia orgánica porque los microorganismos aeróbicos no pueden sobrevivir. Siempre que se rotura el suelo se produce aireación que se traduce en aumento de la actividad microbiana y en una descomposición de la MOS

EL PROCESO DE HUMIFICACION

Características y propiedades

La bioquímica de la formación de las sustancias húmicas ha recibido gran atención desde las décadas de los 60 y 70 en el siglo XX, debido al progreso teórico, en instrumentación y metodologías. Mucho se ha logrado recientemente en el conocimiento de la química del humus y su destino en el suelo.

Bohn, McNeal y O'connor (1979), indican que el humus se considera como una porción del suelo compuesto por un grupo heterogéneo de sustancias, la mayoría de las cuales tienen un parentesco y estructura química desconocidas. El humus es una sustancia altamente coloidal y más amorfa que cristalina. Su área superficial y capacidad de adsorción son mayores que las de los minerales silicatados. La capacidad de intercambio catiónico de un humus bien desarrollado varía entre 150 y 300 Cmol (+) kg⁻¹ y el área superficial puede ser tan alta como 800 a 900 m² g⁻¹. La acidez total de los ácidos fúlvicos (900 -1400 meq/100g) es considerablemente mayor que la de los ácidos húmicos (500 - 870 meq/100g).

Varias fracciones de diferente solubilidad hacen parte de una mezcla homogénea de moléculas con pesos moleculares en un rango muy amplio desde tan bajo como pocos cientos hasta 300.000 g/mol. Los ácidos fúlvicos de bajo peso molecular tienen un mayor contenido de O, pero más bajo contenido de C que los ácidos húmicos que tienen un alto peso molecular.

Tienen la capacidad de absorber y retener grandes cantidades de agua. También, debido a la presencia de muchos grupos ácidos débiles funcionales presenta una elevada capacidad de amortiguación del pH. Tiene baja plasticidad y alta cohesividad que juegan un papel importante en el desarrollo de la estructura del suelo. El humus en suelo de textura fina ayuda a aliviar el efecto desfavorable de las arcillas sobre la estructura promoviendo su agregación.

Se ha observado variaciones fundamentales en composición, estructura y otros rasgos entre los materiales húmicos que se encuentran en suelos de diversas regiones y dedicación. Los suelos forestales de regiones templadas se caracterizan por tener un alto contenido de ácidos fúlvicos mientras que los de pradera tienen un alto contenido de ácidos húmicos. Los ácidos húmicos de los

primeros son del tipo pardo y tienen menos C y mayor contenido de H que los de pradera que son del tipo de ácidos grises.

También se encuentran diferencias entre suelos pertenecientes a diferentes órdenes. Así, en los Mollisoles los ácidos húmicos son más aromáticos y muy diferentes y más complejos que los fúlvicos que se encuentran en Espodosoles y Alfisoles. Debido a estas diferencias no producen efectos exactamente iguales ni tienen las mismas propiedades en diferentes suelos ni interviene en la misma forma en los procesos formación.

Síntesis del humus

Existen muchas modificaciones a la lignina reportadas por investigadores como Maillard (1912, 1916, 1917), citado por Jenkinson (1981) quien hizo reacción de glucosa con glicina en la cual se forman polímeros de color café con propiedades similares a las de los ácidos húmicos (Reacción de Maillard). A partir de allí se han realizado innumerables investigaciones que muestran como los aminoácidos y aminos reaccionan con azúcares reductores y aldehídos produciendo sustancias “parecidas a las sustancias húmicas” o melanoidinas (Jenkinson, 1981).

Flaig y colaboradores (1975), citados por Jenkinson (1981), sugirieron que las sustancias fenólicas eran precursores de las sustancias “parecidas a los materiales húmicos”. Esto se basa en que tanto fenoles como la lignina, que hacen parte de los residuos de plantas, son relativamente resistentes a la degradación, en que los fenoles y quinonas pueden ser sintetizados por microorganismos y en que del suelo se pueden aislar productos de la degradación de la lignina fenólica. Concluye Jenkinson (1981) que sin duda la síntesis química puede contribuir a la formación del humus donde una gran variedad de fenoles están presentes en un ambiente químicamente apropiado en el suelo y de esta forma, los procesos químicamente pueden complementar a las reacciones extracelulares enzimáticamente catalizadas.

Algunos hongos como *Basidiomycetes*, *Ascomycetes*, *Fungi imperfecti* y algunas bacterias son capaces de degradar la lignina. Martin y Haider (1975) sugirieron que los fenoles liberados a partir de la lignina, fenoles sintetizados por microorganismos, ligninas parcialmente degradadas y otros compuestos reactivos se pueden auto-oxidar o ser polimerizados enzimáticamente a moléculas húmicas en el interior o en el exterior de las células microbiales. Otras posibilidades consideradas en la literatura también incluyen la reacción de azúcares y aminoácidos a moléculas reactivas por medio de procesos enzimáticos o auto-oxidativos.

Según Greenland y Hayes (1981), las estructuras fenólicas liberadas por degradación o biosíntesis, pueden ser polimerizadas a materiales húmicos por enzimas fenoloxidasas y por reacciones químicas en el suelo. Hay evidencias de que algunos microorganismos pueden sintetizar antraquinonas y otros productos que incluyen ácidos dicarboxílicos, ácidos benzeno-carboxílicos, ácidos fenólicos y compuestos aromáticos que contienen N y S (más de 160 identificados hasta la fecha) los cuales se hallan entre los precursores del humus. También recalcan el hecho de que los productos del metabolismo fungal contribuyen significativamente a la formación de los ácidos húmicos y que las sustancias húmicas del suelo se pueden considerar como mezclas altamente heterogéneas formadas como resultado de numerosas reacciones de síntesis químicas y biológicas. Como consecuencia se han propuesto muchas teorías para explicar la formación de las sustancias húmicas durante la descomposición de residuos de plantas y animales, algunas de las cuales se pueden apreciar en la figura 1.

Teoría de la lignina

La teoría de las ligninas propone que las sustancias húmicas provienen de la formación de ligninas modificadas. La lignina es utilizada incompletamente por los microorganismos y el residuo

transformado en parte en materiales húmicos es sujeto de cambios posteriores para producir primero ácidos húmicos y luego ácidos fúlvicos por varias vías.

Teoría de los polifenoles

Algunos investigadores dan prioridad a las quinonas, que tienen su origen en las ligninas y también pueden ser sintetizadas por los microorganismos, como la fuente más importante para la formación de las sustancias húmicas. Las posibles fuentes de los polifenoles para la síntesis del humus incluyen: lignina, microorganismos, fenoles no combinados en las plantas, glucósidos y taninos.

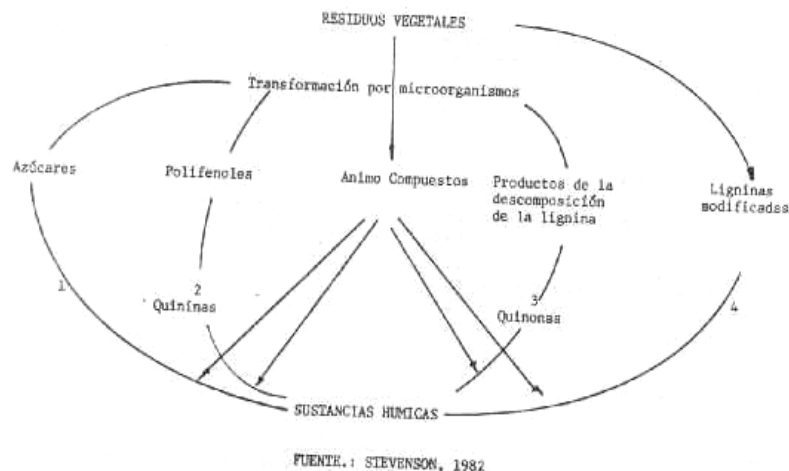


Figura 1. Mecanismos propuestos para explicar la formación de sustancias húmicas del suelo.

Condensación de amino-azúcares

La producción de polímeros nitrogenados de color café por condensación de azúcares reductores y aminas ocurre intensivamente en la deshidratación de productos orgánicos y alimenticios a temperaturas medias, reacción que se considera de importancia en la formación de sustancias húmicas en el suelo.

Esta reacción ocurre lentamente en las condiciones de temperatura normales de los suelos. Sin embargo, cambios drásticos y frecuentes en el ambiente del suelo (humedecimiento, secado, temperaturas, condiciones de reducción, etc.) o reacciones con el material mineral, especialmente montmorillonita, que resulta ser un catalizador más efectivo que la caolinita o la illita, pueden afectarla.

Tipos de Humus

Se pueden distinguir varios tipos de humus según se formen en medio aeróbico o anaeróbico:

En condiciones aeróbicas:

Mull Cálxico: La descomposición de los residuos frescos es rápida porque sucede en un medio biológicamente activo. Con un horizonte A1 oscuro muy bien estructurado y con agregados estables, pH 7 o mayor, relación C/N > 10, alta saturación de bases. Hay un número importante de ácidos orgánicos grises, fuertemente polimerizados e íntimamente ligados a las arcillas.

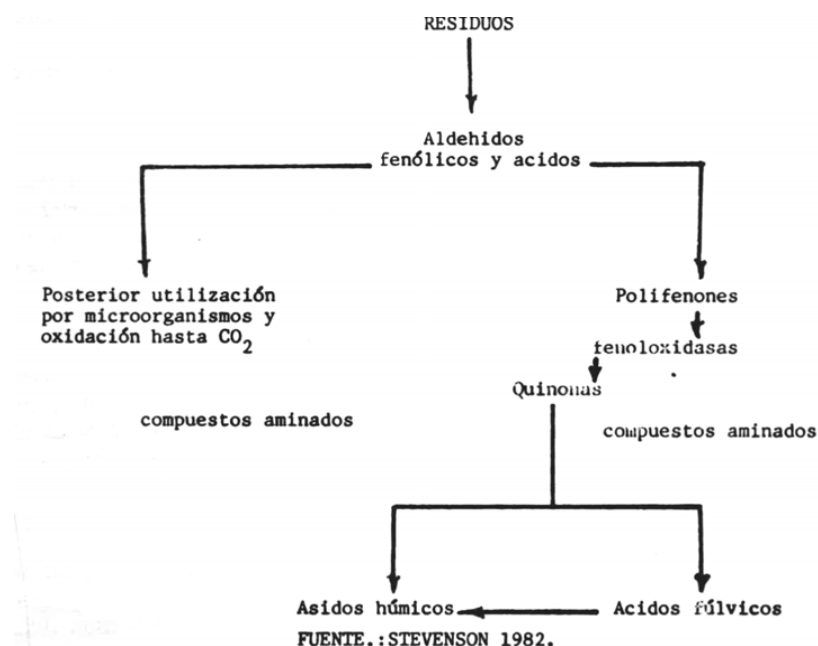


Figura 2. Representación esquemática de la teoría de los polifenoles en la formación del humus.

Mull Forestal: Similar al anterior, pero el horizonte A1 es menos espeso y de color más claro. Su estructura es menos estable, pH ácido aproximadamente 5.5. La polimerización es menos marcada. La relación AF/AH) es mayor a 1. Su tenor en ácidos húmicos grises es bajo. No es exclusivamente forestal.

Moder: Tiene horizonte 0 y luego A1 oscuro, con mala estructura y ausencia de un verdadero complejo arcillo-humus. La proporción de materia orgánica no descompuesta es más elevada y los compuestos húmicos son poco polimerizados.

Mor: Común en regiones de poca actividad biológica donde la mineralización de la materia orgánica es lenta. Los compuestos húmicos que se forman son solubles y parcialmente polimerizados. Se producen pequeñas cantidades de ácidos húmicos y fúlvicos pardos de bajo peso molecular que son lixiviados provocando. Procesos podzolización con de alteración y de migración de compuestos minerales. Existe una estructura organizada sobre el suelo mineral con formación de horizonte 0 de color pardo o negro.

En condiciones anaeróbicas:

Turbas: Se forman en condiciones de poca aireación como suelos saturados de agua casi permanente durante el año. Allí, pocos microorganismos pueden vivir y los procesos de descomposición y la humificación de la M.O. son muy lentas, por lo que se produce acumulación en capas espesas casi siempre saturadas. La relación C/N oscila entre 30 - 40.

Anmor: Suelo temporalmente saturado de agua, o con una napa freática que oscila bastante según las estaciones. La diferencia con la turba es que el anmor es una mezcla íntima de arcilla y materia orgánica transformada y más o menos humificada. La cantidad de materia orgánica es menor a 30%.

FUNCIONES DE LA MOS

Es una constante cuando se hace referencia a la materia orgánica mencionar su contribución al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para renglón seguido enumerar sus beneficios como fuente de nutrientes considerado que este es el papel más importante de la misma. Nada más lejos de la realidad ya que los beneficios de la misma en el suelo son múltiples. Gallardo (2004) profundiza más en el tema y resume los beneficios de las Sustancias Húmicas en la producción de cultivos desde varios puntos de vista Cultivos así:

Aproximación química

- Incremento del contenido de nutrientes orgánicos e inorgánicos del suelo.
- Conversión de componentes no disponibles para las plantas en formas disponibles.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico.
- La habilidad de las plantas para retener los nutrientes de los fertilizantes inorgánicos en la zona radicular.
- Prevención de la contaminación de aguas subterráneas.
- Reducción de las pérdidas de fertilizantes por lixiviación.
- El incrementar la capacidad de amortiguación del suelo.

Aproximación biológica

- Estimula la diversidad y actividad biológica en el suelo.
- Actúa como transportador de nutrientes a través de la pared celular.
- Acelera la división celular (Presencia de fitoreguladores).
- Incrementa la respiración celular.
- Estimula brotes nuevos y crecimiento radicular y una fuerte estructura de planta.
- Incrementa la habilidad de las semillas y el porcentaje de germinación.
- Mejora el contenido de materia seca en las plantas.
- Tiene efectos sobre la resistencia de las plantas a las enfermedades.
- Actúa como detoxificador de agrotóxicos y contaminantes aplicados al suelo.

Aproximación económica

- Mejora la utilización de nutrientes y reduce necesidad de fertilizar.
- Incrementa nivel de crecimiento de las plantas y un alto rendimiento.
- Estación de crecimiento corto - mercadeo más rápido.
- Alta resistencia de plantas a enfermedades - Reducción de pérdidas.

Aproximación física

- Promueve la formación de estructura y la agregación del suelo.
- Mejora la estabilidad de los agregados haciéndolos más resistentes a la degradación.
- Mejora las propiedades hidrodinámicas del suelo: infiltración, permeabilidad y conductividad hidráulica.
- Facilita la circulación de gases y la aireación del suelo.
- Mejora la capacidad de retención de agua.
- Confiere al suelo mayor capacidad para resistir los estreses de la mecanización, facilitando la labranza.

Disponibilidad de nutrientes

La MO afecta directa e indirectamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En primera instancia es fuente de energía para los microorganismos que realizan la mineralización y otros organismos activos en diferentes procesos como, por ejemplo, los que realizan fijación simbiótica y no simbiótica de N y para los que efectúan la oxidación del S elemental a SO_4 . En estos procesos los microorganismos utilizan nutrientes presentes en los materiales orgánicos (descomposición) o en el suelo (inmovilización) y liberan otros. A medida que los materiales frescos se van transformando se alcanzan condiciones de equilibrio y estabilidad que implica que algunos nutrientes liberados por los microorganismos deben ser compensados por la incorporación de cantidades iguales al humus en formación.

Una vez liberados, los nutrientes están sujetos a diversos procesos que determinan finalmente su disponibilidad. Así, los fosfatos pueden reaccionar con las arcillas y los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio en suelos ácidos para formar compuestos que los retienen. En suelos alcalinos y/o calcáreos se pueden formar fosfatos insolubles de calcio. La M.O. amortigua el efecto de los iones H^+ y OH^- y/o retiene temporalmente los fosfatos mediante adsorción o quelatación.

Los micronutrientes en el suelo están sujetos a procesos de retención, adsorción, fijación, precipitación, quelatación en algunos de los cuales la MO actúa directamente afectando la disponibilidad de diversas formas. El cobre, por ejemplo, es retenido muy fuertemente por ella dificultando su disponibilidad en el suelo. A alto pH el Fe y el Mn pueden precipitar directamente formando compuestos insolubles o coprecipitar con los carbonatos de calcio y magnesio.

El conocimiento de los procesos probables en el ambiente iónico del suelo se constituye en herramienta valiosa para el diagnóstico acertado de la fertilidad del suelo

Capacidad de intercambio catiónico

La MOS es responsable de una proporción variable de carga de los suelos. En Mollisoles la CIC puede depender entre un 20 y un 70% de ella, mientras en Entisoles con baja MOS la CIC es generalmente muy baja. Existen suelos que desarrollan carga positiva (Capacidad de Intercambio Aniónico) a bajo pH y un exceso de carga negativa (CIC) a alto pH a los cuales se conoce como suelos de carga variable. La carga desarrollada a alto pH se denomina carga dependiente del pH y se debe a la MOS. La contribución relativa de la carga permanente y de la carga dependiente del pH en un suelo dado depende de la composición del suelo y del ambiente iónico en el cual este se formó.

Absorción de pesticidas y otros productos químicos orgánicos

Los agrotóxicos aplicados al suelo pueden ser adsorbidos y su efectividad modificada, o aún inutilizada, por la MOS por medio de interacciones arcilla-humus y por medio de reacciones químicas potenciales entre pesticidas y sustancias orgánicas en el suelo. Los microorganismos también pueden actuar descomponiéndolos parcial o totalmente.

La materia orgánica y la arcilla son los constituyentes del suelo que más a menudo interactúan en la adsorción de pesticidas. Sin embargo, los efectos individuales no son fácilmente apreciables debido a que en la mayoría de los suelos la materia orgánica está íntimamente unida a la arcilla formando complejos arcilla-humus. La arcilla y la MOS funcionan más como una unidad que como entidades separadas y su contribución relativa a la absorción depende del área superficial de la arcilla recubierta con sustancias orgánicas.

Efectos sobre las propiedades físicas

Sin lugar a dudas el efecto más importante de la materia orgánica sobre el suelo se relaciona con el desarrollo, mantenimiento y preservación de las propiedades físicas. El humus tiene un efecto determinante sobre la estructura y estabilidad estructural de los suelos, haciendo que el efecto del laboreo intenso sea menos severo que en suelos con menor contenido de MOS.

El arreglo de la fase sólida, la naturaleza y distribución por tamaño de agregados y del espacio poroso entre sus partículas constituyentes se conoce como estructura y juega un papel importante en la determinación de las propiedades físicas y por tanto de la fertilidad del suelo (Payne, D., 1994).

La estructura del suelo regula los procesos de flujo y transporte, los procesos circulatorios y respiratorios, la retención y movimiento de fluidos, las transformaciones y translocaciones de nutrientes, la actividad de la fauna, la diversidad de especies y la fortaleza y rigidez del medio de enraizamiento.

La estabilidad de los agregados es la resistencia de la estructura del suelo a fuerzas destructivas mecánicas o físico-químicas. Textura, estructura, tipo de mineral arcilloso, contenido de MO, agentes cementantes e historia de laboreo determinan la estabilidad de los agregados.

La habilidad de los agregados para resistir aflojamiento o rompimiento de las unidades más pequeñas cuando son puestas en agua, irrigadas o sometidas a intensa lluvia (Quirk y Murray, 1991)

La floculación y agregación de los materiales de suelo, la friabilidad, la aireación y la capacidad de retención de agua están relacionadas con la presencia de MOS. Por ello, la incorporación frecuente de residuos conduce a la síntesis de agentes cementantes, que promueven la agregación y que ayudan a mantener una condición del suelo deseable para hacer agricultura.

Cuando la condición física del suelo es tal que el agua no puede entrar y drenar fácilmente se tienen condiciones de sellamiento y encostramiento que se traducen, en mala germinación o emergencia. La estabilidad de los agregados frente a los efectos dispersantes de agua es importante para el mantenimiento de una estructura porosa en los suelos arables (Russell, 1980).

Los polisacáridos en el humus son la fracción más activa en la estabilización de la estructura del suelo. Una consecuencia fundamental de la dicción de materiales orgánicos a los suelos es el mantenimiento del mismo de tolerar y recuperarse de los estreses a los que la mecanización lo somete. A esa capacidad de recuperación del suelo se la conoce en la literatura como “**SOIL RESILIANCE**” y se define como “la habilidad del sistema para recobrar el estado original o casi original de funcionamiento que tenía antes de que fuerzas externas lo alteraran”.

Se dice que un sistema es sostenible si se mantiene una estructura favorable, se controla la erosión, los nutrimentos son efectivamente reciclados, se optimiza el contenido de materia orgánica, se mantienen regímenes de humedad y energía favorables para la integridad ecológica del sistema

Por tanto Los sistemas de uso de la tierra que mejoran la estructura del suelo son aquellos que optimizan el contenido de materia orgánica del suelo, y la actividad y diversidad de especies macro y mesofauna. Incluyen mulches, labranza de conservación, uso frecuente de barbechos y coberturas, rotaciones apropiadas, secuencias y combinaciones de cosechas, manejo de nutrimentos y mejoramiento de la fertilidad.

La prevención y mitigación de efectos dañinos para el suelo se basan en la protección de la bioestructura (grumos) contra el impacto del agua mediante el uso de coberturas muertas y vivas, el retorno periódico de materia orgánica e incorporación superficial, aplicaciones de nutrientes para satisfacer las necesidades de los microorganismos descomponedores y prácticas como rotación y asociación de cultivos para promover la diversidad microbiana.

Pérdidas de suelo

La MOS incrementa habilidad del suelo para resistir todas las formas de degradación y, especialmente, la erosión, debido a diversos efectos como el mantenimiento de una condición estructural que permite la circulación de agua y gases al tiempo que retiene una cantidad considerable. En este sentido se deben tener en cuenta propiedades como sortividad, infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica y estabilidad estructural y procesos como lixiviación, percolación y escorrentía. En un suelo bien estructurado las partículas individuales no son fácilmente transportadas por el agua superficial en movimiento.

FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE MOS

Los procesos naturales que influyen sobre el contenido de materia orgánica de los suelos se conocen como factores de formación del suelo: tiempo, clima, vegetación, material madre, topografía y el hombre. Ellos hacen que el contenido de MOS sea muy variable.

El factor tiempo

La MOS no se acumula indefinidamente sino que bajo condiciones estables de clima y vegetación, material parental, topografía y actividad del hombre con el tiempo se alcanza un nivel de equilibrio en el cual las pérdidas de MOS son compensadas por los ingresos (Greenland y Hayes, 1981).

Debido a que los distintos factores de formación del suelo actúan en diversas combinaciones se puede producir una gran variabilidad en el contenido de M.O. de los suelos. Entre los factores que más influyen se tiene la producción de coloides orgánicos que resisten el ataque microbiano, la protección de la MOS de la descomposición a través de su interacción con la materia mineral como arcillas y la acción de cationes polivalentes. Además la concentración de nutrientes esenciales limita la cantidad de humus que puede ser sintetizado.

El clima

Determina el tipo y cantidad de material vegetal producido en una determinada región y también regula la actividad microbiana en el suelo. Suelos formados bajo drenaje restringido (Histosoles, e Inceptisoles), no siguen un patrón climático. En ellos la ausencia de O₂ da lugar a una actividad biológica reducida y restringida a especies anaeróbicas lo que previene la completa destrucción de los residuos orgánicos por los microorganismos en un amplio rango de temperaturas

En la zona tropical la materia orgánica se acumula en relación directamente proporcional con la altura, dando origen a suelos Inceptisoles como los de la región cafetera colombiana o a Andisoles desarrollados bajo influencia de cenizas. Los suelos de las zonas climáticas cálidas generalmente tienen contenidos bajos de materia orgánica debido a la mayor actividad de microorganismos.

En regiones frías, húmedas o en regiones tropicales cálidas y húmedas son comunes suelos con horizontes espódicos (Espodosoles) caracterizados por la presencia y acumulación de mezclas amorfas de materia orgánica y aluminio con y sin hierro.

Los Mollisoles, caracterizados por la presencia de un epipedón mólico, relativamente grueso, de coloración oscura, rico en bases y en humus, resultante de la descomposición de residuos orgánicos en forma sub-superficial en presencia de cationes divalentes, especialmente calcio y bajo un régimen climático favorable para la producción de biomasa vegetal.

La humedad en forma de lluvia promueve una mayor producción de biomasa vegetal que luego se transforma en MOS. Si la temperatura es moderada a cálida se promueve el crecimiento vegetal.

Material parental

El material mineral que dio origen al suelo importante por los tipos de materiales primarios y secundarios formados que dan origen a suelos de determinadas condiciones texturales y a la presencia de iones de distinto tipo. Las arcillas de tipo 2:1 como montmorillonita, illita, las micas tienen una alta CIC, capacidad de retención y selectividad por ciertos iones, abundancia de cationes básicos y grano fino mientras que las caolinitas de tipo 1:1 tienen menor CIC hay presencia abundante de Al, Fe y Mn y acidez intercambiable. La textura de alguna forma puede determinar el contenido de materia orgánica de un suelo siendo este mayor en los suelos de grano fino que en los de textura gruesa. La formación de complejos arcilla-humus es más posible en suelos con arcillas con alta CIC que en los de baja CIC y es bien sabido que los complejos organominerales sirven para preservar la materia orgánica.

La actividad del hombre

Da lugar a cambios marcados en la MOS. Generalmente, cuando los suelos son puestos bajo uso agrícola se produce una disminución del contenido de MOS debido a que la aireación resultante da lugar a un incremento de la actividad microbiana y pérdida de materia orgánica.

El resultado de numerosos estudios ha mostrado que para la mayoría de los suelos agrícolas, la materia orgánica puede ser sólo mantenida a un alto nivel por inclusión de una pastura en la secuencia de cultivos, o por la frecuente adición de grandes cantidades de residuos orgánicos.

Efecto "Priming".

La adición de materia orgánica a un suelo puede retardar o estimular la descomposición de la ya presente en el suelo. Este efecto puede ser positivo o negativo y directo o indirecto.

Entre las posibles acciones directas está la reactivación de organismos en dormancia y un incremento general en la actividad enzimática (Ladd, Brisbane, Butler y Amato, 1976) citados por Greenland y Hayes (1981). Entre los efectos indirectos se tiene la alteración en el ambiente microbiano como consecuencia de la adición de materiales frescos; así, el pH puede cambiar, el oxígeno puede disminuir temporalmente y nutrientes como el N pueden llegar a ser limitantes para los microorganismos. Este efecto no se debe sobreestimar puesto que es temporal comparado con el total de MOS y su importancia práctica es, por consiguiente, mínima.

Importancia de la relación carbono-nitrógeno

Los microorganismos utilizan el nitrógeno como fuente de energía para construir sus propios materiales nitrogenados. La cantidad de nitrógeno que necesita la población microbiana es proporcional a la cantidad de carbono que ingresa a él. Materiales orgánicos con una relación C:N cercana a 32:1 se consideran con una condición óptima para la descomposición en poco tiempo. Si la relación es mayor, parte del nitrógeno del suelo resulta inmovilizado, pero en un tiempo mayor al normal se produce la mineralización del N del material. Cuando mayor es la relación C:N más largo es el período de inmovilización.

Cuando se produce la inmovilización microbiana del N el cultivo sufre de una deficiencia que puede incidir determinantemente en la producción pues puede durar hasta que las necesidades de los microbios se vean totalmente satisfechas. En estos casos se debe recurrir a la fertilización química al cultivo.

NECESIDAD DE DESARROLLAR ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA RECUPERAR EL NIVEL DE MO DE LOS SUELOS

Comúnmente la fertilización de los cultivos se basa en recomendaciones a partir de promedios que no tienen en cuenta la variabilidad propia del suelo, lo cual se traduce en efectos negativos sobre la producción, el medio ambiente y la economía de la agroempresa. La dosificación de enmiendas y formulación de fertilizantes basadas en la concepción de superficies agrícolas homogéneas, inexistentes en la realidad, ha causado problemas relacionados con sub y sobre fertilización que se traducen en baja sostenibilidad y poca rentabilidad de los sistemas agrícolas. Una alternativa a lo anterior es el manejo de la fertilidad por sitio específico, el cual caracteriza, interpreta y utiliza la variabilidad para ofrecer recomendaciones precisas de acuerdo con las características del suelo. (Leyva y Guerrero, 2007).

Según Limas y Martínez (2007), el desarrollo de un modelo para la evaluación de las variables edáficas a través de indicadores de calidad en los suelos de unidades productivas se fundamenta en el diseño y la aplicación de una metodología capas para relacionar los componentes de calidad del recurso suelo, el estado de este, el manejo y su relación de la producción, a nivel de finca. Un modelo con buena aproximación debe determinar el componente esencial que permita al usuario identificar relaciones entre el tipo de cultivo y las condiciones del suelo en particular como potencial de explotación para un producto determinado.

Con la utilización de técnicas geomáticas se definen mapas temáticos los cuales por medio del uso de la geoestadística muestran la relación de la variable de estudio, en función con la producción, las variables que integran el modelo como indicador edáfico de orden físico son la densidad aparente, estabilidad estructural, resistencia a la penetración (en campo), textura; indicadores químicos como bases, pH, materia orgánica, fósforo, acidez y los indicadores ambientales como temperatura, precipitación, humedad relativa y la evapotranspiración. La simulación de estas variables permite tomar decisiones sobre el posible manejo o la ubicación de cultivos futuros y especialmente para la búsqueda de la sostenibilidad, manejo y conservación del recurso suelo, basados en el análisis espacial.

Salamanca, Leiva y Guerrero (2007) anotan que la agricultura por sitio específico busca mejorar la eficiencia productiva y racionalizar el uso de los recursos a partir del manejo de la variabilidad específica de los agroecosistemas. Esta nueva concepción para el manejo de la fertilidad permite ofrecer recomendaciones precisas acordes con las características del suelo y del cultivo, a partir de su variabilidad específica. Actualmente la sociedad y el mercado exigen que la producción agrícola genere menores impactos ambientales negativos y aumente su competitividad en un ámbito de globalización. En este escenario, la agricultura específica por sitio (AEPS), también llamada agricultura de precisión, plantea mejorar la eficiencia productiva y racionalizar el uso de los recursos a partir del de la variabilidad específica de los agroecosistemas. (Leiva, 2006).

Particularmente, el manejo de la fertilidad por sitio específico permite ofrecer recomendaciones precisas para la fertilización en función del suelo y del cultivo, a partir de la interpretación de su variabilidad para utilizar los insumos adecuados, en la cantidad, sitio y momento requeridos. Esto conlleva a potenciar zonas que naturalmente responden mejor y corregir áreas de bajos rendimientos (Ortega, sf.).

Situación en tierras de montaña

Las tierras montañosas son determinantes en los sistemas económicos y ambientales de muchos países de América Latina y el Caribe, donde ocupan más del 25% del área total de tierra. Sin embargo, históricamente las tierras montañosas de nuestros países han sido excluidas de los inventarios nacionales de suelos debido a las preconcepciones creadas por el Sistema de Clasificación por

Capacidad de Uso, copiado del USDA, que las considera “no cultivables”. Por ello los estudios detallados de suelos se han dirigido exclusivamente a zonas planas o “tierras cultivables” con “alto potencial de desarrollo agropecuario”.

Esto tiene consecuencias directas sobre el uso y manejo ya que por un lado no se consideran en los planes de gobierno, entidades de desarrollo y programas de investigación y por otro, a pesar de la presión de la población, no se ha trabajado en el desarrollo de sistemas de manejo sostenible de suelos y el ordenamiento de las tierras montañosas tropicales, lo que ha conducido a degradación extensiva y, lo que es peor, a la pérdida de millones de hectáreas en procesos erosivos.

Como ejemplo de lo anterior, Obando y Villegas (2007) indican la zonificación agroecológica de Colombia indica que existen grandes extensiones de tierras forestales y agrícolas utilizadas en actividades pecuarias, lo cual es una consecuencia directa del proceso de degradación que soportan los suelos y los ecosistemas de bosques del país (IGAC, 1985; 2002). Sin duda, dicho juicio ha redundado en la obsolescencia conceptual respecto de la agenda en ciencia y tecnología en gestión del suelo y los recursos naturales asociados del país. Así, las nuevas tecnologías, tales como la agricultura de precisión y el manejo de suelos por sitio específico, apoyadas en los levantamientos detallados de suelos y la variabilidad espacial interna de los cuerpos edáficos, es inconcebible en las tierras montañosas.

De hecho, la planeación de uso y manejo del suelo, se han realizado tradicionalmente con base en la información puntual de los llamados perfiles modales considerados representativos de grandes unidades de suelos. A escala de finca, tradicionalmente, el manejo de la fertilidad del suelo se ha fundado en el promedio del contenido de nutrientes obtenido del análisis de muestras tomadas aleatoriamente en el predio, y finalmente mezcladas para obtener una muestra compuesta, dejando de lado la variación espacial de los factores edáficos. Es claro que la agricultura convencional en paisajes productivos en zonas montañosas presenta limitaciones para abordar y entender la variabilidad espacial del suelo; en consecuencia el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico (MFSSE) es una alternativa tecnológica que presenta desafíos para su avance e implementación.

Las consideraciones anotadas por Obando y Villegas (2007) en los párrafos anteriores ponen de presente la necesidad de redireccionar nuestros sistemas de clasificación para el uso de suelos, la planeación y desarrollo de investigación dirigidas al diseño de prácticas de manejo sostenible para las zonas de montaña caracterizadas por alta presión de población y minifundio que tengan en cuenta el conocimiento actual, la necesidad de minimizar los impactos ambientales y detener la pérdida de suelos para garantizar la seguridad alimentaria.

La labranza de conservación

Un sistema de rotación con agricultura continua ofrece mejores alternativas para mantener un contenido adecuado de MOS. La fertilización de los cultivos también produce un aumento en el nivel de M.O., probablemente por un mayor rendimiento de los cultivos y por lo tanto mayor volumen de residuos. Los sistemas de pasturas producen mayores niveles de M.O. (aproximadamente 1% más que los de agricultura continua), debido a mayores aportes de residuos y menores pérdidas por erosión, dado el mayor tiempo en que el suelo está cubierto por vegetación y por lo tanto más protegido de la lluvia.

La variabilidad y la dependencia espacial encontradas en estudios recientes para los contenidos de arena, limo y arcilla, y su expresión mediante semivariogramas, son la base para nuevas investigaciones y para establecer cultivos bajo la concepción de agricultura de precisión en los suelos. Las propiedades físicas juegan un papel clave en la fertilidad y son un componente básico de la calidad del suelo (Amézquita et al., 2004); incluso su evaluación ha sido propuesta para definir zonas de manejo específico (Borůvka et al., 2002).

Cuando se reduce o suspende el laboreo hay menor tasa de mineralización y menor pérdida de suelos por erosión. La mayor intervención agrícola, con labranza de conservación, conduce a incrementos en CO y posibles reducciones de la densidad de partículas. En particular, según Tamayo, Luengas y Leiva (2007), la densidad de partículas (DR o densidad real) incide notoriamente en la porosidad y por consiguiente en el movimiento y almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo. Los mismos autores indican que la intervención agrícola se refleja particularmente en los primeros 0,10 m del suelo, en los cuales la tendencia general de la porosidad y el movimiento y almacenamiento de fluidos en el suelo es hacia una menor dispersión, pero con distribuciones espaciales aleatorias. Los ciclos sucesivos de cultivos, manejados con labranza de conservación, son una alternativa para captura de C en suelos, particularmente en Oxisoles. El manejo de cultivos, por su efecto en la dinámica y en la distribución del CO, afecta la variabilidad espacial de la DR,

La DR depende de la composición mineral y orgánica del suelo por lo que el manejo de suelos y cultivos con materiales orgánicos puede producir una notoria variabilidad espacial. El carbono orgánico del suelo (CO), además de cumplir un papel central en las propiedades químicas, en la fertilidad y en la biota del mismo, tiene gran efecto en la conservación de sus propiedades físicas, particularmente en la estabilidad de la estructura disminuyendo el riesgo de degradación estructural y de compactación en forma proporcional a mayores contenidos de CO (Hamza & Anderson, 2005).

La Biofertilización

La fertilidad y productividad de un suelo son el resultado de la interacción de factores químicos, físicos y biológicos. En condiciones naturales se alcanza un estado estable en el tiempo que las labores agrícolas alteran, lo que hace necesario realizar prácticas que las restablezcan ya sea mediante fertilización química u orgánica, manejo integrado de suelos o prácticas conservacionistas. El manejo integrado de suelos incluye el uso de de prácticas que se aplican al suelo o al cultivo en función de la fertilidad natural (física, química y biológica), los requerimientos nutricionales del cultivo, el clima, el manejo, el nivel tecnológico del productor y las necesidades de conservación del ambiente.

Una de las prácticas que viene recibiendo mayor atención es la biofertilización basada en el uso de microorganismos que tienen la capacidad de fijar N de la atmósfera que lo pueden hacer en forma simbiótica y no simbiótica con diversas plantas (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*), algas (*Azolla*), micorrizas, bacterias solubilizadoras de fosfatos y hongos que realizan funciones variadas como *Trichoderma*. Estos microorganismos se pueden inocular o aplicar al suelo para facilitar su multiplicación.

A pesar de que el papel de varios organismos está bien establecido en una gran gama de funciones esenciales del ecosistema, aún no es clara la escala de diversidad (de especies o de niveles taxonómicos inferiores o superiores) necesaria para mantener esas funciones. Hay acuerdo en que una variedad de organismos del suelo efectúan procesos similares (organismos redundantes) y que pueden ser sustituidos unos con otros en términos funcionales. Sin embargo, es necesario determinar indicadores de niveles críticos del conjunto funcional de la biota edáfica para mantener los procesos indispensables del suelo al igual que los medios para manejarlos (Castilla y Bolaños, 2007).

Este conocimiento permite diseñar pautas de manejo de diversos microorganismos (biofertilización) acompañadas del uso de productos fertilizantes naturales como la roca fosfórica con el fin de optimizar procesos de producción limpia al tiempo que se contribuye a la sostenibilidad de los recursos suelo y agua y a un mejor ambiente.

Fijación biológica de Nitrógeno (FBN)

La fijación biológica desempeña un papel muy importante en la economía del nitrógeno en la agricultura, ya que la cantidad de nitrógeno disponible en la mayoría de los suelos cultivados es baja, particularmente en el trópico y en la actualidad no puede ser suplementada a escala mundial por la producción de fertilizantes. No obstante, los beneficios potenciales de la FBN en la agricultura no podrán ser aprovechados en su totalidad hasta que no se conozcan en profundidad los factores abióticos y bióticos que influyen sobre ella, así como sus mecanismos de actuación (Aparicio y Arrese, 1996).

Existen en la naturaleza tres grandes sistemas de fijación de nitrógeno por los microorganismos procarióticos: en forma libre, asociados a una planta o en simbiosis formando una estructura especial constituida para tal fin. La fijación libre y simbiótica, representa 50 y 120 millones de Mg de N/año respectivamente, mientras que por fertilizantes se aportan 80 millones (Legard y Giller, 1995).

Los organismos fijadores de nitrógeno tienen la facultad de sintetizar nitrogenasa y obtienen carbón e hidrógeno de la materia orgánica del suelo o de exudados radicales en la rizosfera de las plantas cuando son bacterias heterotróficas libres, o directamente de las plantas cuando son simbióticas. También hay autotróficas, es decir, que obtienen carbón del CO₂ del aire tal como obtienen N₂ (Orozco, 1999).

Las bacterias libres aplicadas en forma de biopreparados a partir de *Azotobacter* pueden ser usadas para cualquier cultivo y de esta manera incrementar su población en el suelo. Estas bacterias utilizan el nitrógeno atmosférico para formar su propia célula; se multiplican rápidamente y proporcionan muchas ventajas, como regular el crecimiento de las plantas, producir hormonas y favorecer la solubilidad y mineralización de la materia orgánica agregada al suelo como abono. Estos microorganismos tienen la ventaja de ser aplicadas a cualquier cultivo, en cualquier época de desarrollo de la planta, antes o durante la siembra, en la germinación, en los aporques y en los transplantes.

En arroz, estudios recientes han indicado que en algunos genotipos la FBN asociada al cultivo puede contribuir hasta con 30% de las necesidades de nitrógeno. Se están realizando esfuerzos para seleccionar genotipos promisorios y aislar bacterias diazotróficas como *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* que sean eficientes en la FBN en este cereal. En la aplicación de biofertilizantes con base en bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter* y *Azospirillum*) y un hongo solubilizador de fósforo (*Penicillium*), la interacción con la fuente de materia orgánica (compost), y la dosis de fertilización son fundamentales para encontrar una respuesta positiva a su aplicación, por lo que su recomendación debe partir de un buen juicio técnico para que esta sea eficiente y no se convierta en un gasto adicional sino en una opción viable económicamente (Castilla y Bolaños, 2007).

Micorrizas

Las micorrizas son una asociación simbiótica, mutualística, benéfica entre las raíces de plantas superiores (más de 80 %) con los micelios de hongos del suelo (Zigomicetos); a tal punto que pueden suplir o complementar la fertilización de síntesis química. Existen diferentes tipos de micorrizas de acuerdo a como se asocian con las células de las raíces de las plantas, pudiendo encontrarse dentro de las raíces (endomycorrizas) o fuera de ellas (ectomycorrizas).

Las micorrizas incrementan la superficie de absorción de las raíces, lo cual da lugar a un mejoramiento de la absorción iónica y acumulación más eficiente y selectiva, especialmente en el

caso del fósforo y otros minerales del suelo, mejorando su absorción por la planta. También aumentan la vida útil de las raíces absorbentes y les dan resistencia a infecciones causadas por hongos patógenos, como *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Fusarium* spp. *Rhizoctonia* y nemátodos. Finalmente, producen un incremento de la tolerancia de la planta a toxinas del suelo, valores extremos de acidez del suelo y mayor resistencia a las sequías.

En Colombia existe gran diversidad de los HMA, en ecosistemas cafeteros se encontraron más de 26 especies, las cuales mostraron cierta tolerancia a condiciones de estrés por toxicidad de aluminio, deficiencia y/o exceso de nutrimentos, estrés hídrico. La diversidad y población de estos simbiontes también mostró asociación con el grado de fertilidad del suelo, principalmente con el contenido de materia orgánica y con los cultivos asociados a café (Bolaños, 2000).

Solubilizadores de fosfatos

En la interface suelo-raíz, zona rica en exudados, la actividad microbiológica es muy elevada debido a esa riqueza nutricional y a la producción de CO₂, tanto por raíces como por microorganismos, que da lugar a cambios de pH y a la consecuente disolución de sustratos que liberan nutrientes para los microorganismos y las plantas (Mengel y Kirkby, 2000). En la rizosfera las bacterias solubilizadoras de fosfatos son mucho más abundantes que los hongos con la misma capacidad. Dichos organismos solubilizan complejos Ca-P y muy pocos pueden solubilizar complejos Fe-P o Al-P; por lo tanto, pueden más ser efectivos en suelos alcalinos y/o calcáreos donde los complejos con calcio están presentes y en suelos a los cuales se ha adicionado roca fosfórica como enmienda y/o fertilizante (Gyaneshwar *et al.*, 2002 citado por Sánchez y otros, 2005).

Hay muchas evidencias de los beneficios de la interacción de plantas con microorganismos con capacidad para solubilizar fosfatos especialmente de los ligados al calcio. Algunos hongos, levaduras, bacterias y actinomicetes exhiben esa propiedad. En algunos países como en la Pampa argentina se comercializan inoculantes complejos de bacterias fijadoras de nitrógeno con solubilizadoras de fosfatos (Rizofos), inoculante compuesto por microorganismos que pueden ayudar a la nutrición de plantas leguminosas mediante fijación simbiótica de N y aumento de la disponibilidad de P y otros elementos como Fe y Zn. Según Gyaneshwar *et al.*, (2002) citado por Sánchez *et al.*, (2005) algunos de ellos pueden producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal.

Colorado (2007) llama la atención sobre la necesidad de usar adecuadamente la materia orgánica indicando que cuando la materia orgánica de un suelo es baja la mineralización y humificación también lo son y que la actividad biológica se reducirá para reactivarse cuando se produzcan nuevos aportes.

También llama la atención sobre el uso de microorganismos foráneos para enriquecer compostes ya que en principio causan una gran activación que no siempre sucede ya que bajo condiciones edafobiológicas diferentes (vertisoles, mollisoles-inceptisoles etc...) la aplicación de cocteles mezcla de materiales y microorganismos con una buena actividad de oxidación biológica (compost-gallinaza-vinazas etc) las condiciones del medio pueden cambiar su estabilidad biótica, dando como resultado un desequilibrio microbiológico edáfico que puede causar una bio-proliferación que en muchos casos implica consumo excesivo de C y, por ende, competición entre los microorganismos nativos y foráneos.

Esto implica que no todos los materiales orgánicos y cócteles de microorganismos foráneos son ideales para todos los suelos ya que los hay con contenidos altos en fibra, otros con altos contenidos de jugos y donde la relación C/N prima, lo que no favorece en algunos casos la actividad biológica del

suelo y en vez de equilibrar, esta aumenta la oxidación desequilibrando la activada física, química y biológica.

BIBLIOGRAFIA

- Amézquita, E., R.J. Thomas, I.M. Rao, D.L. Molina, and P. Hoyos. 2004. Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.103, p.269–277.
- Aparicio y Arrese. 1996. Fijación de nitrógeno. *Fisiología y Bioquímica vegetal*. España. 9:193-213.
- Bohn, H., B.Mc. Neal, and G. O'connor. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons. New York. 329 p.
- Bolaños, B.M. y L.L. Castilla. 2006. La Rizosfera. En: *Biofertilización: Alternativa viable para la nutrición vegetal*.
- Boruvka, L., H. Donátová, and K. Nemecek. Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a casa study. *En: ROSTLINNA VYROBA*, 48, 2002(10):425-432.
- Castilla, A. y Bolaños, M.M. 2007. La biofertilización: una alternativa viable para la nutrición vegetal. *Memorias (CD) III Encuentro nacional de Agricultura de Conservación*. SCCS, corpoica, CIAT. 6-8 de junio de 2007. Villavicencio.
- Colorado, C. 2007. Manejo y dinámica de la materia orgánica en suelos de regiones tropicales. *Memorias (CD) III Encuentro nacional de Agricultura de Conservación*. SCCS, corpoica, CIAT. 6-8 de junio de 2007. Villavicencio.
- Foth, H.D. 1972. *Fundamentals of soil Science*.
- Gallardo, J. 2004. *MEMORIAS Curso sobre materia orgánica*. CD. Memorias. Quito.
- Greenland, D.J. and M.H.B. Hayes. 1981. *The Chemistry of soil Processes*. John Wiley & Sons. New York. 693 p.
- IGAG (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1977. *Estudio general y detallado de suelos de los municipios de Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid: departamento de Cundinamarca*. Editorial: IGAG. Bogotá D.C.
- Jenkinson, D.S. 1981. The fate of plant and animal residues in soil. In: *The Chemistry of soil Processes* p 505-561.
- Kaemmerer, M. y G. Sacco. 1977. Extracción y fraccionamiento de la materia orgánica, cationes ligados a ella y estabilidad estructural de las principales unidades de suelos del Uruguay, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes.
- Kononova, M. 1982. *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*, Barcelona: Oikos-Tau. 365 p.
- Legard, S.F. and E.K. Giller. 1995. Atmospheric N₂ fixation as an alternative source. In: *Nitrogen fertilization in the environment* P.E Bacon (Ed) Marcel Dekker Ink N.Y 443-486.

- Limas Cano, L.F. y L.J. Martínez. 2007. Metodología para evaluar la aptitud de las tierras en frutales caducifolios, como una herramienta de integración en la evaluación de la tierra y el sistema de producción, basado en conceptos de análisis espacial. Memorias (CD) III Encuentro Nacional de Agricultura de Conservación. SCCS, Corpoica, CIAT. 6-8 de junio de 2007.
- Martin, J.P. and K. Haider. 1971. Microbial activity in relation to soil humus formation. Soil Sci. III, 54-63.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute, Basel, Switzerland. 692 p. ISBN: 3-906535037.
- Obando, F.H., y M. Villegas. 2007. Opciones para el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico en zonas montañosas tropicales. Memorias (CD) III Encuentro Nacional de Agricultura de Conservación. SCCS, Corpoica, CIAT. 6-8 de junio de 2007.
- Orozco, H. 1999. Biología del Nitrógeno: conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Medellín ISBN: 958-9352-11-1.
- Ortega, R. y L. Flores. sf. Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico. CRI-INIA Quilamapu. Chile.
- Russell, E.W. 1980. Soil conditions and plant growth. 10a ed, London, Willian Clowes. 806 p.
- Steverson, F. 1982. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: Wiley. 442 p.
- Salamanca, C., F. Leiva, y L. Guerrero. 2007. Evaluación del manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de arveja (*Pisum sativum* L.) en la sabana de Bogotá. Memorias (CD) III Encuentro nacional de Agricultura de Conservación. SCCS, Corpoica, CIAT. 6-8 de junio de 2007. Villavicencio
- Sánchez, J., H. Valencia, N. Valero. 2005. Producción de ácido indol acético por microorganismos solubilizadores de fosfatos presentes en la rizósfera de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del páramo El Granizo.p: 178-193. En: Estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia / ed. María Argenis Bonilla Gómez. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Unibiblos. ISBN: 958-701-481-2. 353 p.