

Materia Orgánica del Suelo

Contenido:

- **Definición**
- **Origen**
- **Influencia de los factores del medio**
- **Humus: Génesis y naturaleza**
- **Importancia**
- **Manejo de la cantidad y calidad de Materia Orgánica**
- **Bibliografía**



Cátedra de Edafología
Facultad de Agronomía y Zootecnia
Universidad Nacional de Tucumán



MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Ing. Agr. M.Sc. Roberto Corbella
Ing. Agr. Juan Fernández de Ullivarri

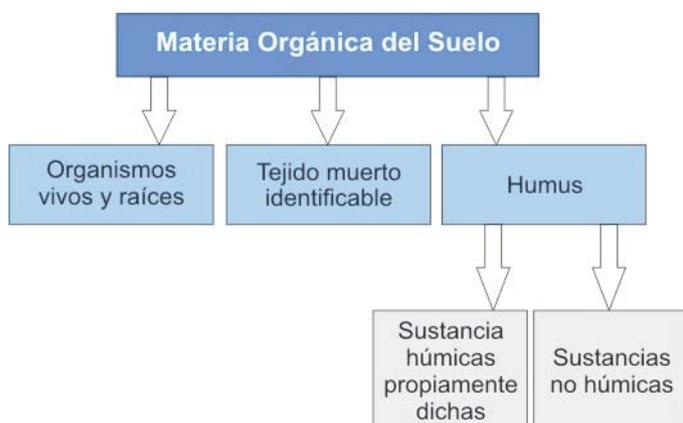
DEFINICIÓN

Por definición, toda sustancia orgánica contiene carbono. Los suelos del mundo contienen aproximadamente el doble de la cantidad de carbono que se encuentra en toda la vegetación del planeta. Por lo tanto, la materia orgánica del suelo tiene un rol decisivo en el balance global del carbono, el cual es considerado el factor más influyente en el calentamiento global o efecto invernadero. La materia orgánica del suelo puede ser definida en dos sentidos:

a) Materia Orgánica en sentido general: involucra micro y meso-organismos que habitan el suelo, raíces de las plantas, todo material proveniente de organismos muertos y sus productos de transformación, descomposición y resíntesis sobre y en el suelo.

b) Materia orgánica en sentido restringido: excluye de la definición anterior la biomasa del suelo (organismos vivos y raíces).

La materia orgánica, considerada como una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, desempeña un importante papel en los suelos agrícolas. A pesar de que la misma constituye solo una pequeña fracción de la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en muchas propiedades y procesos del suelo. Frecuentemente un efecto lleva a otro, de modo que de la adición de materia orgánica a los suelos, resulta una cadena compleja de múltiples beneficios.



CICLOS DE NUTRIENTES

A través de un complejo entramado de ciclos (carbono, nitrógeno, azufre, fósforo), los elementos circulan dentro del ecosistema, siendo su destino final preferentemente la materia orgánica. En esta dinámica, el componente vivo del suelo, tiene una enorme importancia a la hora de determinar el movimiento de nutrientes y su distribución además de la velocidad a la que los nutrientes son reciclados (Figura 1).

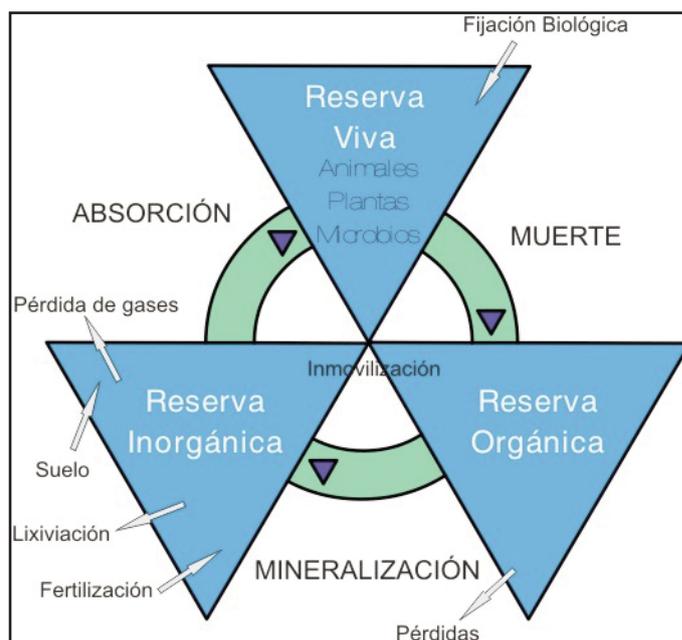


Figura 1: Esquema de la dinámica de los ciclos de nutrientes.

ORIGEN

El origen de la materia orgánica puede ser clasificado como: *primario u original* que representa los residuos vegetales y uno *secundario* que está representado por los residuos animales.

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE LAS PLANTAS

Los tejidos de las plantas verdes están constituidos en su mayor parte por agua, el contenido de humedad varía de 60 a 90%, siendo 75% un valor típico. Si estos tejidos se secan, quitándoles toda el agua, el análisis de la materia seca que queda muestra que, en base a peso, la mayor parte (al menos 90 a 95 %) está constituida por carbono, oxígeno e hidrógeno (Figura 2 y 3).

Las plantas obtienen estos elementos a partir del dióxido de carbono y el agua, mediante la fotosíntesis. Si la materia seca de las plantas se quema (oxida), estos elementos se transforman nuevamente en dióxido de carbono y agua. Por supuesto, en la combustión también se formará algo de cenizas y humo, lo que es responsable del 5 a 10% restante de la materia seca.

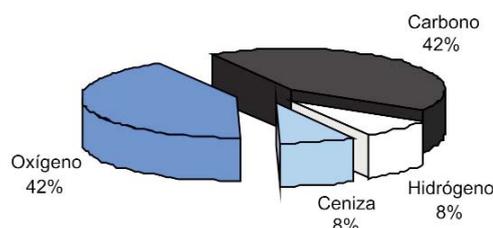


Figura 2: Composición elemental del vegetal.

los cálidos, la mineralización es acelerada, por lo que la liberación de nutrientes es rápida pero la acumulación residual de materia orgánica es menor que en los suelos más fríos. Por lo tanto, a medida que nos trasladamos desde los climas más cálidos hacia los más fríos, el contenido de materia orgánica de suelos equiparables tiende a aumentar. Los suelos regados de las regiones desérticas calientes, se encuentran entre los de más rápida velocidad de descomposición de la materia orgánica.

Dentro de zonas de condiciones de humedad uniforme y vegetación comparable, las cantidades totales promedio de materia orgánica de los suelos aumentan de dos a tres veces por cada 10°C de disminución de la temperatura media anual. En las regiones montañosas, a medida que uno asciende desde las tierras bajas cálidas a las altas, más frías, se evidencian cambios similares en la materia orgánica del suelo.

Humedad

La humedad del suelo también ejerce una influencia importante en la acumulación de materia orgánica en los suelos. En condiciones comparables, el contenido materia orgánica de los suelos aumenta a medida que crece la humedad efectiva. Sin embargo, al establecer esta correlación con la precipitación, se debe recordar que el nivel de materia orgánica, en cualquier suelo, está influenciado tanto por la temperatura como por la humedad y también por otros factores.

Donde la temperatura media anual es alta y la precipitación es baja, es donde se encuentran los niveles naturales más bajos de materia orgánica y las mayores dificultades para mantenerlos. Estas relaciones son de extrema importancia para la productividad y conservación de los suelos y para la dificultad relativa de manejar en forma sustentable el recurso natural suelo.

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN NATURAL

Usualmente, el clima y la vegetación actúan en forma conjunta para influenciar en los contenidos de materia orgánica del suelo. Generalmente, la gran productividad vegetal originada por un ambiente bien provisto de agua lleva a mayores aportes a la reserva de materia orgánica del suelo. En las áreas sub-húmedas y semiáridas generalmente dominan los pastizales, mientras que en las regiones húmedas dominan los árboles. En las zonas climáticas donde la vegetación natural incluye a ambos, bosques y pastizales, el contenido total de materia orgánica es más alto en los suelos desarrollados bajo pastizales que en los desarrollados bajo bosques. En los suelos con vegetación de pastos, los residuos de las plantas contienen una proporción relativamente mayor de materia orgánica radical, que se descompone más lentamente y contribuye más eficientemente a la formación de humus del suelo que la hojarasca de un bosque.

EFFECTOS DE LA TEXTURA Y EL DRENAJE

Textura

Mientras el clima y la vegetación natural afectan la materia orgánica del suelo de áreas geográficas extensas, la textura del suelo y el drenaje con frecuencia son responsables de diferencias notables de materia orgánica dentro de un paisaje de un sitio determinado. En general, y siendo iguales todas las otras características, los suelos con alto contenido de arcilla y limo tienen más materia orgánica que los arenosos. En los suelos de textura fina la cantidad de residuos orgánicos que retorna al suelo es generalmente mayor, debido a que las capacidades de retener nutrientes y agua superiores de estos suelos favorecen una producción vegetal mayor. Al mismo tiempo, los poros, generalmente más pequeños, de los suelos de textura fina pueden restringir la aireación y reducir la velocidad de oxidación de la materia orgánica. Otro factor que favorece la mayor acumulación de materia orgánica en los suelos de textura fina es la formación de complejos arcilla-humus que protegen a la materia orgánica de la degradación.

Efectos del drenaje

En los suelos mal drenados la provisión abundante de agua estimula la producción de materia orgánica seca por parte de las plantas y la aireación relativamente deficiente inhibe la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto los suelos deficientemente drenados, por lo general, acumulan cantidades de materia orgánica mucho más altas que suelos similares pero mejor aireados. Por ejemplo, los suelos adyacentes a cursos de agua son excepcionalmente ricos en materia orgánica, debida en parte a su mal drenaje. En ambientes muy pobremente drenados, se puede acumular materia orgánica suficiente para formar horizontes orgánicos (O). Si la condición de anegamiento natural de estos horizontes O se altera por la instalación de un sistema de drenaje artificial, el incremento de suministro de oxígeno resultante provoca la desaparición de gran parte de la materia orgánica acumulada en estos suelos.

INFLUENCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA Y EL LABOREO

Indiscutiblemente, se puede generalizar diciendo que las tierras cultivadas tienen niveles mucho más bajos de materia orgánica que los que tienen áreas similares pero con vegetación natural. Esto no es sorprendente; en condiciones naturales toda la materia orgánica producida por la vegetación se devuelve al suelo y el suelo no se perturba por labranzas. En contraste, en las áreas cultivadas, la mayor parte del material vegetal se extrae para alimento humano o animal y lo que termina regresando al suelo es relativamente menor. Además, la labranza airea el suelo y desmenuza los residuos orgánicos, haciéndolos

más accesibles a la descomposición microbiana.

Roturación

Cuando se incorpora al cultivo una tierra virgen, se produce un descenso muy rápido del contenido de materia orgánica. Con el tiempo, las ganancias y pérdidas de carbono orgánico alcanzan un nuevo equilibrio y el contenido de materia orgánica se estabiliza en un valor mucho más bajo. Cuando se desmonta bosques tropicales lluviosos, se observan caídas similares del contenido de materia orgánica; sin embargo, las pérdidas pueden ser aún más rápidas debido a que en este caso las temperaturas son más altas.

Las modernas prácticas de labranza conservacionista pueden ayudar a mantener o restaurar niveles altos de materia orgánica en la superficie del suelo. Comparadas con la labranza tradicional, prácticas como la cubierta de rastrojos o labranza cero dejan una proporción mayor de los residuos sobre o cerca de la superficie del suelo. Estas técnicas protegen al suelo de la erosión y frenan también la descomposición rápida de los residuos de cosecha (Figura 4).

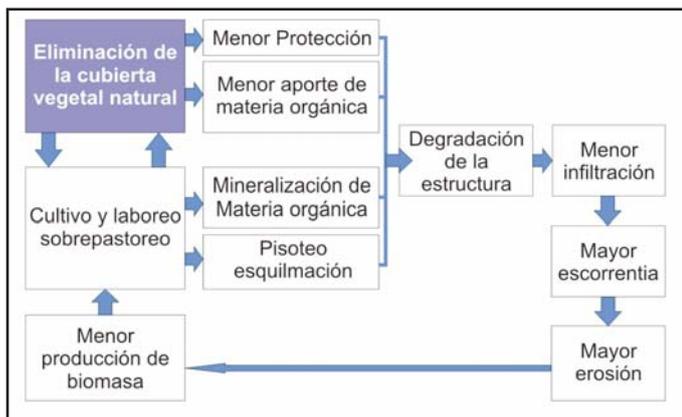


Figura 4: Mecanismos relacionados con la eliminación de la cubierta vegetal.

FACTORES QUE CONTROLAN LAS VELOCIDADES DE DESCOMPOSICIÓN Y MINERALIZACIÓN

El tiempo necesario para completar los procesos de descomposición y mineralización (transformación de sustancias orgánicas en inorgánicas) puede variar desde días hasta años, dependiendo mayormente de dos factores generales:

1. Las condiciones ambientales del suelo.
2. La calidad de los residuos agregados como fuente de alimento para los organismos.

Las condiciones ambientales que conducen a una rápida descomposición y mineralización incluyen un pH casi neutro, humedad del suelo suficiente y buena aireación (alrededor de 60% del espacio poroso del suelo lleno con agua) y temperaturas cálidas (25 a 35°C).

Factores Físicos que Influyen en la Calidad de los Residuos

La ubicación de los residuos, dentro o sobre del suelo, es un factor físico decisivo para las velocidades de descomposición. La ubicación de los residuos vegetales en la superficie, como la hojarasca en un bosque o la cubierta de rastrojos en la labranza conservacionista, usualmente da como resultado velocidades de descomposición más lentas y más variables que cuando se incorporan residuos similares dentro del suelo, por restos de raíces, acción de la fauna o labranza. Los residuos incorporados están en íntimo contacto con los organismos del suelo y, generalmente, se mantienen uniformemente húmedos. Por el contrario, los residuos superficiales están fuera del alcance físico de la mayoría de los organismos del suelo, salvo el micelio de los hongos y la fauna de mayor tamaño, como las lombrices. Los residuos superficiales están sujetos a desecación y también a temperaturas extremas.

Los elementos nutritivos mineralizados a partir de residuos aplicados en la superficie son también más susceptibles de perderse que los que provienen de residuos incorporados.

Otro factor físico importante es el tamaño de las partículas del residuo, cuanto más chica es la partícula, mayor es la velocidad de descomposición. Un tamaño de partícula chico puede deberse a la naturaleza de los residuos (ej. ramitas versus troncos), a tratamientos mecánicos (molienda, picado, labranza, etc.) o a la acción masticatoria de la fauna del suelo. La reducción del tamaño de partícula de los residuos expone físicamente más área superficial a la descomposición y también fragmenta las paredes celulares con lignina o lignificadas y las cubiertas externas cerosas de las hojas, de modo que expone los tejidos más fácilmente descomponibles y los contenidos celulares.

Relación Carbono/Nitrógeno de los Materiales Orgánicos y los Suelos

El contenido de carbono de una materia vegetal seca típica es de un 42%; el de la materia orgánica del suelo varía desde 40 a 58%. En contraposición, el contenido de nitrógeno de los residuos vegetales es mucho más bajo y varía ampliamente (desde <1 a 6%). La relación del carbono al nitrógeno, C/N, de los residuos que se aplican al suelo es importante por dos razones:

- Cuando se agrega residuos que tienen relación C/N alta, se produce una fuerte competencia entre los microorganismos por el nitrógeno disponible del suelo.
- La relación C/N del residuo contribuye a determinar su velocidad de descomposición y la velocidad con que el nitrógeno se hace disponible para las plantas.

Relación C/N en plantas y microbios: en los residuos vegetales la relación C/N varía desde 10:1 a 30:1, en las leguminosas y las hojas jóvenes, hasta valores tan altos como 600:1, en algunas clases de aserrín. Generalmente, a medida que la planta madu-

ra, la proporción de proteínas de sus tejidos disminuye mientras que aumentan la de lignina y celulosa y la relación C/N.

En los cuerpos y células de los microorganismos, la relación C/N no sólo es menos variable que en los tejidos vegetales, sino que también es comúnmente mucho más baja, cayendo hasta 5:1 a 10:1. Entre los microorganismos, las bacterias son generalmente algo más ricas en proteínas que los hongos y, en consecuencia, tienen una relación C/N más baja.

Relación C/N en suelos: la relación C/N de la materia orgánica de los horizontes superficiales (Ap) de los suelos arables (cultivados) comúnmente varía de 8:1 a 15:1, estando la mediana cerca de 12:1. Usualmente, en un perfil de suelo, la relación es más baja en los subsuelos que en las capas superficiales. En una región climática dada, hay muy poca variación de la relación C/N entre suelos manejados de modo similar.

Influencia de la Relación C/N en la descomposición

Al igual que otros organismos, los microbios del suelo requieren un balance de nutrientes para construir sus células y obtener energía. La mayoría de los organismos del suelo metabolizan materiales que contienen carbono, tanto para formar compuestos orgánicos esenciales, como para obtener energía para procesos vitales. Sin embargo, ninguna criatura puede multiplicarse y crecer sólo con carbono. Los organismos deben obtener también suficiente nitrógeno para sintetizar componentes celulares que contienen nitrógeno, tales como aminoácidos, enzimas y ADN.

En promedio los microbios del suelo deben incorporar dentro de sus células alrededor de ocho partes de carbono por cada parte de nitrógeno (asumiendo que los microbios tienen una relación C/N promedio de 8:1). Debido a que sólo alrededor de un tercio del carbono metabolizado por los microbios se incorpora a sus células (el restante se respira y se desprende como CO₂) necesitan encontrar en el sustrato alrededor de 24 partes de carbono por cada parte de nitrógeno que asimilan en de sus cuerpos (es decir una relación C/N de 24 en su "comida")

Este requerimiento da como resultado dos consecuencias prácticas extremadamente importantes. Primero, si la relación C/N del material orgánico agregado al suelo excede de más o menos 25:1, los microbios tendrán que recurrir a la solución del suelo para obtener suficiente nitrógeno. Por esto, la incorporación de residuos de alta C/N agotará la provisión de nitrógeno soluble, causando deficiencia de nitrógeno en las plantas superiores. Segundo, si no hay suficiente nitrógeno para sostener el crecimiento microbiano, ni en el material que se descompone, ni disponible en la solución del suelo, la alteración de los materiales orgánicos puede demorarse (Figura 5).

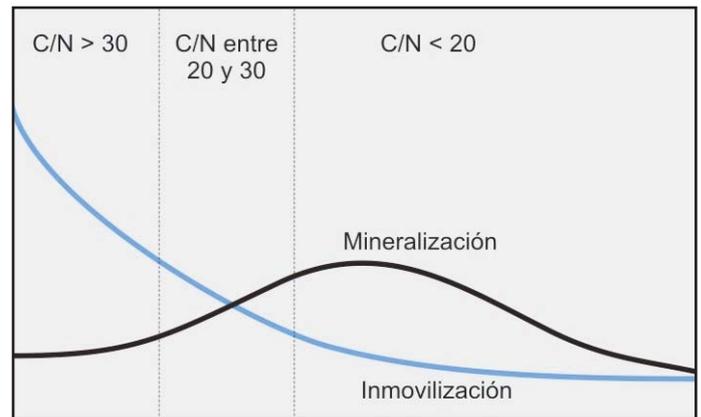


Figura 5: Efecto de los valores de R C/N del material orgánico sobre los procesos de mineralización o inmovilización

Influencia del Contenido de Lignina y Polifenoles de los Materiales Orgánicos

El contenido de lignina de los desechos vegetales varía desde menos de 2% hasta más de 50%. Los materiales con alto contenido de lignina se descomponen muy lentamente. También los compuestos polifenólicos que se encuentran en los desechos de las plantas pueden inhibir la descomposición. Estos compuestos fenólicos frecuentemente son hidrosolubles y pueden estar presentes en concentraciones tan altas como 5 a 10% del peso seco. Por formación de complejos altamente resistentes con las proteínas durante la descomposición de los residuos, estos compuestos fenólicos pueden retardar severamente tanto la mineralización de nitrógeno como la oxidación del carbono.

HUMUS: GÉNESIS Y NATURALEZA

El término general materia orgánica del suelo (MOS) comprende todos los componentes orgánicos de un suelo:

- Biomasa viva (tejidos vegetales y animales intactos microorganismos),
- Raíces muertas y otros residuos vegetales reconocibles y también
- Una mezcla predominantemente amorfa y coloidal de sustancias orgánicas complejas que ya no pueden identificarse como tejidos.

En propiedad, sólo la tercera categoría de material orgánico recibe el nombre de humus del suelo.

TRANSFORMACIONES MICROBIANAS

A medida que se produce la descomposición de los residuos de las plantas, los microbios fragmentan lentamente los componentes complejos en compuestos más simples. En este proceso parte de la lignina es dividida en subunidades fenólicas. Entonces los microbios metabolizan los compuestos más simples que se originan. Usando parte del carbono no perdido como dióxido de carbono en la respiración, junto con la mayor parte del nitrógeno,

azufre y oxígeno de esos compuestos, los microorganismos sintetizan compuestos celulares nuevos y biomoléculas. Algo de la lignina original no es completamente destruida, sino sólo modificada para formar moléculas residuales complejas que retienen muchas de las características de la lignina. Los microbios polimerizan (ligándolos entre sí) algunos de los compuestos nuevos más simples unos con otros y con los productos residuales complejos formando cadenas largas, complejas que resisten posterior descomposición. Estos compuestos de alto peso molecular interactúan con compuestos aminorados que contienen nitrógeno, dando origen a un componente importante del humus resistente. La presencia de arcillas coloidales estimula la polimerización compleja. Estos polímeros complejos, mal definidos, resistentes son llamados sustancias húmicas. El término sustancias no-húmicas se refiere a un grupo de biomoléculas identificables que se producen mayormente por acción microbiana y que son menos resistentes a la destrucción.

Un año después de agregados los residuos, la mayor parte del carbono ha retornado a la atmósfera como CO₂, pero es probable que quede en el suelo un quinto a un tercio, sea como biomasa del suelo (5%) o como fracciones del humus del suelo, húmicas (20%) y no húmica (5%). La proporción remanente de los residuos de raíces tiende a ser algo mayor que la que queda de los residuos de hojas incorporados.

SUSTANCIAS HÚMICAS

Las sustancias húmicas comprenden alrededor del 60 a 80% de la materia orgánica del suelo. Están constituidas por moléculas enormes con estructura y composición más bien variables que específicas. Las sustancias húmicas están caracterizadas por estructuras aromáticas, cíclicas que incluyen polifenoles (numerosos compuestos fenólicos agrupados) y poliquinononas similares que son aún más complejas. Generalmente las sustancias húmicas son sustancias de color oscuro, amorfas, con pesos moleculares que varían de 2.000 a 300.000 g/mol. Debido a su complejidad, son los materiales orgánicos más resistentes al ataque microbiano.

Agrupamiento por solubilidad: Las sustancias húmicas han sido históricamente clasificadas en tres agrupamientos químicos basados en solubilidad:

Ácidos fúlvicos: los de peso molecular más bajo y de color más claro, solubles tanto en ácido como en álcali y más susceptibles al ataque microbiano (Figura 6).

Ácidos húmicos: de peso molecular y colores medianos, solubles en álcali pero insolubles en ácido y de resistencia intermedia a la degradación (Figura 7).

Huminas: las de peso molecular más alto, de color más oscuro, insolubles tanto en ácido como en álcali (Figura 8) y las más resistentes al ataque microbiano.

Los tres grupos de sustancias húmicas son relativamente estables en los suelos. Aún el ácido fúlvico, el más fácilmente degradable, es más resistente al ataque microbiano que la mayoría de los residuos vegetales recientemente aplicados. La vida media (el tiempo requerido para la destrucción de la mitad de la cantidad de una sustancia), depende del ambiente, para el ácido fúlvico puede ser 10 a 50 años, mientras que la vida media del ácido húmico se mide generalmente en centurias.

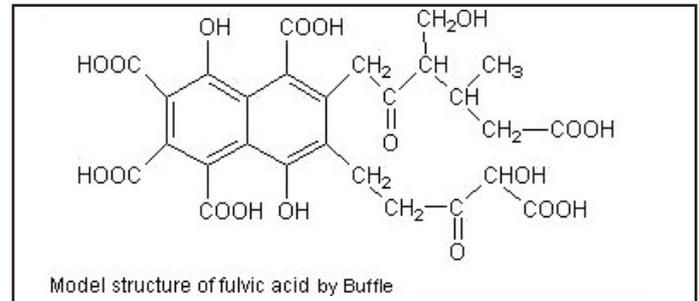


Figura 6: Modelo de estructura del ácido fúlvico (Buffle)

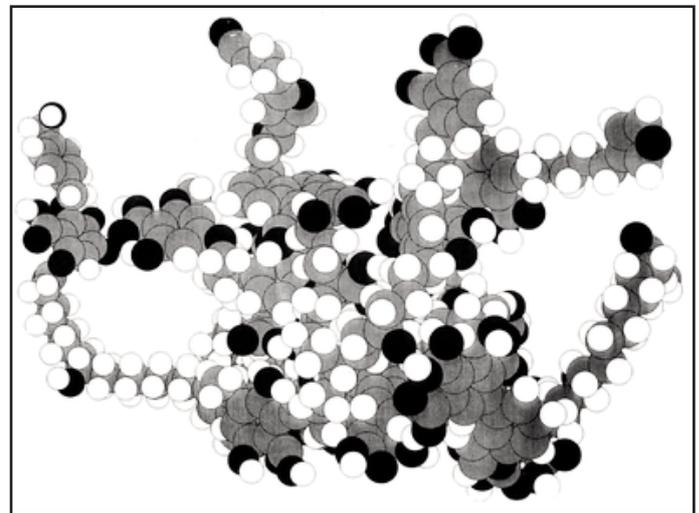


Figura 7: Modelo de estructura tridimensional del ácido húmico (H. R. Schulten).

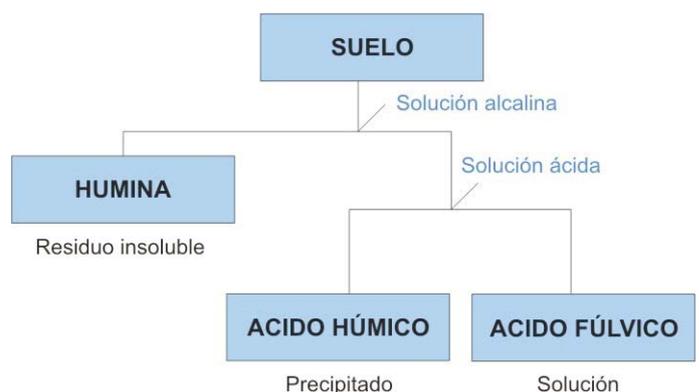


Figura 8: Fraccionamiento de las sustancias húmicas por efecto de soluciones extractantes

SUSTANCIAS NO-HÚMICAS

Alrededor de 20 a 30% del humus de los suelos está formado por sustancias no-húmicas. Estas sustancias son menos complejas y menos resistentes al ataque microbiano que las de grupo del humus. A diferencia de las sustan-

cias húmicas están constituidas de biomoléculas específicas con propiedades físicas y químicas definidas. Algunas de estas sustancias no-húmicas son compuestos de las plantas modificados microbiológicamente, mientras que otras son compuestos sintetizados por los microorganismos como subproductos de la descomposición. Entre las sustancias no-húmicas están los polisacáridos, polímeros que tienen estructura similar a los azúcares y una fórmula general de $C_n(H_2O)_m$ donde n y m son variables. Los polisacáridos son especialmente importantes en el incremento de la estabilidad estructural. También están incluidos los poliurónidos, los que no se encuentran en las plantas, pero son sintetizados por microbios del suelo.

Algunos compuestos aún más simples (como ácidos orgánicos de bajo peso molecular y algunos materiales de tipo proteico) forman también parte del grupo no-húmico. A pesar que ninguno de estos materiales más simples está presente en grandes cantidades, pueden influir en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, como ser nitrógeno y hierro y pueden además afectar en forma directa el crecimiento vegetal.

ESTABILIDAD DEL HUMUS

Estudios que usan radioisótopos han demostrado que parte del carbono transformado en humus miles de años atrás está aún presente en los suelos, evidenciando que algunos materiales húmicos son extremadamente resistentes al ataque microbiano. Esta resistencia a la oxidación de las sustancias húmicas, es importante en el mantenimiento de los niveles de materia orgánica y en la protección del nitrógeno y otros elementos esenciales, contra la mineralización rápida y pérdida del suelo. Por ejemplo, la formación de complejos polifenol-proteína puede proteger el nitrógeno proteico del ataque microbiano. A pesar de su resistencia relativa a la alteración, el humus sufre continuamente ataque microbiano. Sin la adición anual de residuos vegetales suficientes, la oxidación microbiana producirá una reducción de los niveles de materia orgánica del suelo.

Combinaciones arcilla-humus: la interacción con minerales arcillosos proporciona otro medio de estabilizar el nitrógeno del suelo y la materia orgánica. Se sabe que ciertas arcillas atraen y retienen sustancias como aminoácidos, péptidos y proteínas, formando complejos que protegen los compuestos nitrogenados de la degradación microbiana. La materia orgánica que está aprisionada en los poros muy pequeños ($<1 \mu$) que forman las partículas de arcilla es físicamente inaccesible a los organismos descomponedores. También es posible que ciertos silicatos laminares, como la vermiculita puedan retener materia orgánica entre sus láminas en formas que resisten fuertemente a la descomposición.

Así, la arcilla, junto con polímeros húmicos y polisacáridos, pueden proteger del ataque microbiano a compuestos nitrogenados relativamente simples. En muchos suelos más de la mitad de la materia orgánica está asociada a arcillas y otros constituyentes inorgánicos. A pesar que el alcance y los mecanismos de las interacciones arcilla-

humus no son todavía completamente comprendidos, estas interacciones explican parcialmente el alto contenido de materia orgánica de los suelos arcillosos.

CARACTERÍSTICAS COLOIDALES DEL HUMUS

El área superficial por unidad de masa de los coloides del humus es muy alta, excediendo generalmente a la de las arcillas silicatadas. Las superficies coloidales del humus están cargadas negativamente, como resultado de la disociación de H^+ de grupos carboxílicos ($-COOH$) o fenólicos ($-OH$). La cantidad de carga negativa depende del pH. A valores altos de pH, la capacidad de intercambio de cationes del humus en relación con masa (150 a 300 $cmol_c/kg$) excede grandemente la de la mayoría de las arcillas silicatadas. Cualitativamente las reacciones de intercambio con el humus son similares a las que se producen con las arcillas silicatadas. Las micelas de humus, igual que las partículas de arcillas, tienen un enjambre de cationes adsorbidos (Ca^{2+} , H^+ , Mg^{2+} , K^+ , etc.) que son intercambiados con cationes de la solución del suelo. La capacidad de retención de agua del humus en relación con su masa (no en relación con su volumen) es cuatro a cinco veces la de las arcillas silicatadas. El humus tiene un rol en la formación y estabilidad de los agregados. Las moléculas altamente complejas del humus contienen estructuras químicas que absorben linealmente todas las longitudes de onda de la luz visible, dando a la sustancia un color negro característico.

ACCIÓN DIRECTA DE LA MATERIA ORGÁNICA SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETAL

Está bien probado que ciertos compuestos orgánicos son absorbidos por las plantas superiores. Las plantas pueden absorber una parte muy pequeña de sus requerimientos de nitrógeno y fósforo como compuestos orgánicos solubles. Cuando la materia orgánica se transforma, se forman varios compuestos promotores del crecimiento, como vitaminas, aminoácidos, auxinas y giberelinas. Estas sustancias pueden estimular, a veces, el crecimiento, tanto en las plantas como en los microorganismos.

Es conocido que pequeñas cantidades de ácidos fúlvico y/o húmico en la solución del suelo pueden favorecer ciertos aspectos del crecimiento vegetal. Probablemente, componentes de estas sustancias húmicas actúan como reguladores de funciones específicas del crecimiento vegetal., tales como la elongación celular y la iniciación de raíces laterales.

Efectos aleloquímicos

Alelopatía es el proceso por el que una planta impregna el suelo con un compuesto que afecta el crecimiento de otra planta. La planta puede hacer esto exudando directamente aleloquímicos o los compuestos pueden ser lixiviados desde el follaje por el agua de lluvia. En otros casos el metabolismo microbiano de los tejidos muertos de la planta (residuos) produce los aleloquímicos. En algunos casos

se aplica el término aleloquímico a compuestos vegetales que inhiben a los microorganismos. Aparentemente, los aleloquímicos presentes en el suelo, son responsables de muchos de los efectos que se observan cuando varias plantas crecen asociadas entre sí. Ciertas malezas (Ej. Pasto ruso y cola de zorro gigante) perjudican a los cultivos en forma excesiva con relación al tamaño y número de las malezas presentes debido a que producen estos compuestos. Los residuos de los cultivos que se dejan sobre la superficie del suelo pueden inhibir la germinación y el crecimiento del siguiente cultivo (Ej. frecuentemente los residuos de trigo inhiben a las plantas de sorgo).

ACCIÓN INDIRECTA DE LA MATERIA ORGÁNICA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Influencia en las propiedades físicas

El humus tiende a dar a los horizontes superficiales colores castaño oscuro a negro. Favorece la granulación y la estabilidad estructural, especialmente por la producción de sustancias no-húmicas durante la descomposición (Figura 9). Las fracciones húmicas ayudan a disminuir la plasticidad, cohesión y adhesividad de los suelos arcillosos, tornándolos más fáciles de manejar. También mejora la retención de agua, ya que la materia orgánica mejora tanto la velocidad de infiltración como la capacidad de almacenaje de agua.

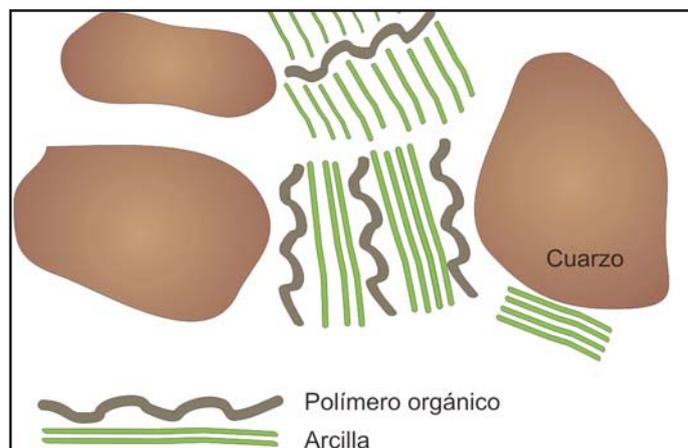


Figura 9: Esquema de Emerson sobre unión de materia orgánica y otros constituyentes del suelo

Las sustancias ligantes que pueden ser de naturaleza polar o no polar.

Polar: La Materia Orgánica cargada se une a:

- Las arcillas o partículas mayores a través de uniones electrostáticas
- Unión Materia Orgánica - borde de arcillas (en aquellas con cargas originadas por ruptura del cristal).
- Unión grupos de carga positiva de la Materia Orgánica con arcillas.
- Unión Materia Orgánica con metales polivalentes a través de puentes catiónicos (quelatos).
- Uniones puente hidrógeno. Arcillas - H - grupos carboxílicos de la Materia Orgánica.

No polar: Es decir polímeros orgánicos no cargados donde la unión se hace por fuerzas de naturaleza física (Van der Waals) que son de corto rango. Encapsulan a un grupo de partículas. Ejemplos: polisacáridos, poliurónidos (gomas bacterianas), mucílagos (producidos por raíces)

Influencia en las propiedades químicas

Debido a que el humus tiene una capacidad de intercambio de cationes (CIC) de 2 a 30 veces mayor (por kg) que la de varios tipos de minerales de arcilla, generalmente es responsable de 50 a 90 % del poder de adsorción de cationes de los suelos minerales superficiales. Igual que las arcillas, los coloides húmicos retienen cationes nutrientes (potasio, calcio, magnesio, etc.) en formas fácilmente intercambiables, a partir de las que las plantas pueden usarlos pero que no pueden ser fácilmente llevados fuera del perfil por el agua que percola. Por su capacidad de intercambio de cationes y sus grupos funcionales ácidos y básicos, la materia orgánica provee además gran parte de la capacidad de amortiguación del pH de los suelos. Además en los constituyentes de la materia orgánica del suelo hay almacenados nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes, que son liberados lentamente por mineralización.

Asimismo, los ácidos húmicos atacan los minerales del suelo y aceleran su descomposición, liberando así nutrientes esenciales en forma de cationes intercambiables. Los ácidos orgánicos, polisacáridos y los ácidos fúlvicos pueden atraer cationes como Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} de los bordes de las estructuras minerales y formar quelatos o ligarlos en complejos órgano-minerales estables. Algunos de estos metales se hacen más disponibles como micronutrientes para las plantas porque son conservados en forma soluble bajo forma de quelatos. En los suelos muy ácidos, la materia orgánica mitiga la toxicidad de aluminio por que liga los iones aluminio en complejos no-tóxicos.

Efectos biológicos

La materia orgánica influye grandemente en la biología del suelo, debido a que provee la mayor parte del alimento para la comunidad de organismos heterótrofos del suelo. La calidad de los desechos de las plantas y la materia orgánica del suelo afecta mucho las velocidades de descomposición y por lo tanto, la cantidad de materia orgánica que se acumula en el suelo.

IMPORTANCIA

La materia orgánica del suelo tiene un rol decisivo en el balance global del carbono, el cual es considerado el factor más influyente en el calentamiento global o efecto invernadero. A pesar de que la materia orgánica constituye sólo una pequeña fracción de la masa total en la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que en muchas propiedades ejerce una influencia dominante física, química y biológica.

En los suelos superficiales, proporciona gran parte de las capacidades de intercambio de cationes y de retención de agua. Ciertos componentes de la materia orgánica son responsables, en gran medida, de la formación y estabilización de los agregados del suelo. Además, la materia orgánica contiene grandes cantidades de nutrientes para las plantas, especialmente nitrógeno, y actúa como un depósito que los libera lentamente. Aun más, la materia orgánica proporciona la energía y los constituyentes celulares a la mayoría de los microorganismos. Además de facilitar el crecimiento de las plantas por los efectos ya mencionados, ciertos compuestos orgánicos presentes en los suelos tienen efectos estimulantes directos en el crecimiento de las plantas. Por todas estas razones, mejorar la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo es un factor esencial en el mejoramiento de la calidad del suelo.

MANEJO DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE MATERIA ORGÁNICA

Quizás la forma más utilitaria de definir la calidad de la materia orgánica del suelo consista en reconocer diferentes reservorios de carbono orgánico que varían en su susceptibilidad al metabolismo microbiano. Se pueden identificar cinco de estos reservorios de carbono en los residuos de las plantas y en la materia orgánica del suelo. Los residuos de las plantas contienen algunos componentes (**carbono metabólico**), tales como azúcares, proteínas y almidones, que son muy fácilmente metabolizados por los microbios del suelo. Otros componentes (**carbono estructural**) existen mayormente en la estructura de las paredes celulares de las plantas, incluyendo lignina, polifenoles, celulosa y ceras que son resistentes a la descomposición.

El contenido total de materia orgánica de un suelo es la suma de varios reservorios materia orgánica diferentes, llamadas fracciones activa, lenta y pasiva (Figura 10).

Fracción o carbono activo de la materia orgánica:

está formada por materiales con relación C/N relativamente alta (alrededor de 15 a 30) y la mitad de estos materiales puede metabolizarse en el término de algunos meses a algunos años. Probablemente, sus componentes incluyen la biomasa viva, algunos de los detritus de partículas finas (llamados materia orgánica particulada) la mayoría de los polisacáridos y las otras sustancias no-húmicas, como así también algunos de los ácidos fúlvicos más lábiles (fácilmente descomponibles). Esta fracción activa provee la mayoría del alimento prontamente accesible a los organismos del suelo y la mayor parte del nitrógeno rápidamente mineralizable. Es responsable de casi todos los efectos benéficos sobre la estabilidad estructural que llevan a mejorar la infiltración de agua, la resistencia a la erosión y la facilidad de labranza. La fracción activa puede ser incrementada rápidamente por la adición de residuos vegetales y animales frescos, pero también se pierde rápidamente cuando se reducen estas adiciones o por intensificación del laboreo. Raramente esta frac-

ción comprende más del 10 a 20% de la materia orgánica total.

Fracción o carbono pasivo de la materia orgánica:

está constituida por materiales muy estables que permanecen en el suelo por cientos, y aún miles de años, en el suelo. Esta fracción incluye la mayor parte del humus protegido físicamente en complejos arcilla-humus, la mayoría de la humina y muchos de los ácidos húmicos. En la mayoría de los suelos la fracción pasiva comprende de 60 a 90% de la materia orgánica y esta cantidad aumenta o disminuye sólo lentamente. La fracción pasiva está muy estrechamente asociada a las propiedades coloidales del humus del suelo y es responsable de casi todo el aporte de la materia orgánica a la CIC y a la capacidad de retención de agua.

Fracción o carbono lento de la materia orgánica:

del suelo tiene propiedades intermedias entre las de las fracciones activa y pasiva. Esta fracción probablemente incluye tejidos vegetales muy finamente divididos, de alto contenido de lignina y otros componentes lentamente descomponibles y químicamente resistentes. Las vidas medias de estos materiales se miden comúnmente en décadas. La fracción lenta es una fuente importante de nitrógeno mineralizable y otros nutrientes vegetales.

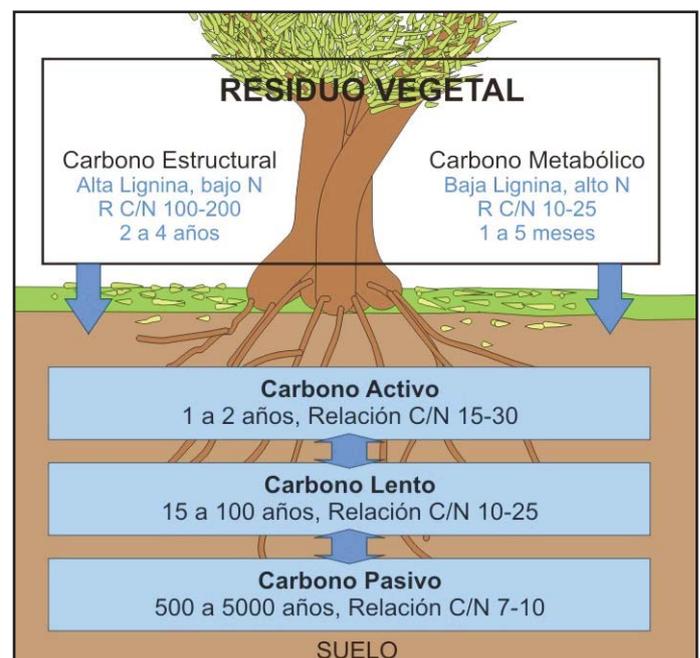


Figura 10: Dinámica de las fracciones de la materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

- **LABRADOR MORENO, J.** 1996 La materia orgánica en los agrosistemas. Mundi-Prensa.
- **UBA.** 2000. Principios de Edafología, con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía.
- **BRADY, N. C. & WEIL, R. R.** 1999. The nature and properties of soils.