

4. LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO

Fernando Munévar M.*

La materia orgánica del suelo es un material complejo sujeto a cambios continuos de descomposición y síntesis. Sus propiedades y su efecto en el suelo son un producto de su interacción con otros componentes del mismo, vivos o inertes. La descripción de las propiedades de la materia orgánica del suelo, sus interacciones con otros constituyentes de él, los procesos de su transformación y reciclaje, su manejo y conservación requerirían un escrito muy extenso, fuera de los alcances de este artículo. En esta revisión bibliográfica solamente se pretende mencionar algunos de los aspectos más sobresalientes de la materia orgánica del suelo y sus implicaciones agronómicas.

4.1. COMPOSICION.

La materia orgánica del suelo consiste de un amplio grupo de sustancias que van desde tejidos vegetales y animales y células microbianas no descompuestas, pasando por productos de descomposición de corta duración, hasta material estable amorfo sin vestigios de la estructura anatómica del material original (Russell y Russell, 1968).

* Ingeniero Agrónomo M.S. Programa de Suelos. Instituto Colombiano Agropecuario - Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123 Bogotá, Colombia.

Los componentes de la materia orgánica del suelo pueden clasificarse en dos grupos generales de sustancias : no-húmicas y húmicas. En el grupo de las sustancias no-húmicas se incluyen los residuos inalterados de tejidos vegetales y animales. Tales sustancias tienen una constitución química perteneciente a grupos orgánicos conocidos como carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, etc. En la categoría de las sustancias húmicas se incluyen aquellas sustancias modificadas química y biológicamente que conservan muy poca o ninguna semejanza con los compuestos orgánicos conocidos (Stevenson, 1972).

De los residuos inalterados que llegan al suelo y que en primera instancia constituyen las sustancias no - húmicas, los restos vegetales son los que generalmente contribuyen en mayor grado a la materia orgánica del suelo. Los residuos de plantas tienen una constitución heterogénea, pero en general están conformados por seis grupos de sustancias orgánicas así : (a) Celulosa, en proporción que varía del 15 al 60% del peso seco ; (b) Hemicelulosas, del 10 al 30% ; (c) Ligninas, del 5 al 30% ; (d) sustancias solubles en agua : azúcares simples amino-ácidos, ácidos alifáticos, del 5 al 30% ; (e) sustancias solubles en eter y en alcohol : grasas, aceites, ceras; (f) proteínas, en las cuales se encuentra gran parte del nitrógeno (N) y azufre (S) orgánicos (Alexander, 1961).

En la mayoría de los suelos, las sustancias húmicas constituyen la

fracción más activa de la materia orgánica, pues ellas participan en un mayor número de reacciones con otras moléculas orgánicas, coloides minerales, iones inorgánicos y células microbianas. Las sustancias húmicas pueden describirse como una serie de polielectrolitos de alto peso molecular, altamente ácidos y de coloraciones amarillas a negras. La habilidad para reaccionar que poseen las sustancias húmicas se debe principalmente a la abundancia de grupos funcionales que contienen oxígeno como $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenólicos, enólicos y alifáticos y varios tipos de estructuras $\text{C}=\text{O}$ (Stevenson, 1972).

Tradicionalmente se ha hecho una división o fraccionamiento de las sustancias que integran la fracción húmica de la materia orgánica del suelo. Mediante un procedimiento analítico basado en el uso de diferentes solventes se separan varias fracciones de la parte húmica del suelo teniendo en cuenta si son o no solubles en tal o cual solvente. En esta forma se establecen fracciones mas o menos artificiales de los compuestos húmicos y por lo tanto cada fracción está definida según su solubilidad. Entre las fracciones más importantes que se reconocen están los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos, los cuales a su vez se sub-dividen en otras fracciones. Según este esquema el ácido húmico se define como el material que se extrae del suelo con soluciones alcalinas y que precipita después de una acidificación. Acido fúlvico es el material soluble en álcali y que permanece en solución después de la acidificación.

Como en la literatura se utilizan diferentes términos para referirse a tipos de materia orgánica o a tipos de suelos según su contenido de materia orgánica, conviene aclarar algunos de ellos :

El término peat se refiere a un material de suelo no consolidado y que consiste en gran parte de materia orgánica no descompuesta, o solo parcialmente descompuesta, la cual se ha acumulado bajo condiciones de humedad excesiva (Soil Science Society of América, 1965). Este término equivale, en español, a turba. Un suelo que presente este tipo de material se denomina suelo de turba (peat soil).

Muck es un material orgánico altamente descompuesto, en el cual no se pueden reconocer los tejidos vegetales originales. Este material contiene una mayor proporción de constituyentes minerales que el peat (Soil Science Society of America, 1965).

En la nueva terminología utilizada por el sistema norteamericano de clasificación de suelos, el término peat se ha reemplazado por el de horizonte fábrico. A este nuevo término se le da una definición más exacta en el sistema de clasificación mencionado. En igual forma, el término muck ha sido substituído por los términos horizonte hémico y horizonte sáprico. Este último indica un alto grado de descomposición, mientras que el material que constituye un horizonte hémico tiene un grado de descomposición intermedio (Buol, Hole y McCracken, 1973).

El término mor se utiliza para indicar un horizonte superficial de materia orgánica, que se compone de capas de hojarasca y está muy bien delimitado frente al suelo mineral. Para algunos este término es equivalente a humus ácido. Mull indica materia orgánica muy descompuesta unida íntimamente con partículas minerales de reacción neutra o ligeramente ácida (Jacks, Tavernier y Boalch, 1960) que es típica de los antiguos chemozem (mollisoles en la nueva terminología).

4.2. DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA.

4.2.1. El Proceso de Descomposición.

Los residuos orgánicos que llegan al suelo sufren diversos procesos de transformación que en muchos casos dan por resultado productos de una composición química más simple. En los procesos de descomposición intervienen fuerzas físicas como cambios de temperatura, humedad, etc. También participan, especialmente en las fases iniciales, organismos como vertebrados, insectos, otros artrópodos, lombrices, los cuales juegan un papel relativamente importante en la incorporación de los residuos al suelo, en la reducción del tamaño de los residuos y por tanto aumentan la superficie de exposición a la acción de otros factores. Dentro de estos procesos iniciales también juega papel importante la acción del hombre al incorporar con las labores de cultivo en suelos agrícolas residuos de cosechas.

Aunque estos pasos iniciales son de cierta importancia, la mayoría de los procesos de transformación de la materia orgánica en el suelo son llevados a cabo por los microorganismos : bacterias, actinomicetos, hongos, los cuales al utilizar las sustancias orgánicas como fuentes de carbono y/o energía para su crecimiento los degradan, produciendo sustancias más simples. Este proceso en general se denomina mineralización de la materia orgánica.

En el proceso de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos, una parte del carbono es asimilada por ellos - se incorpora el material celular - y otra parte se libera como CO_2 . En este tipo de reacción se produce energía y agua como se indica enseguida :



Mediante el proceso de mineralización algunos elementos que son nutrimentos para las plantas son transformados de una forma orgánica no utilizable por la planta a una forma inorgánica asimilable. Tal es el caso, por ejemplo, del nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). Por tanto se habla de mineralización de N, por ejemplo, para referirse al conjunto de transformaciones mediante las cuales la acción de los microorganismos convierte una forma orgánica de nitrógeno en una forma inorgánica.

La acción degradante la ejercen los microorganismos a través de las enzimas (catalizadores orgánicos de naturaleza proteica) que sintetizan. Algunas enzimas son liberadas al medio (actúan extracelularmente) y otras ejercen su acción intracelularmente.

La relativa facilidad con que las distintas sustancias orgánicas que se encuentran en el suelo o en los residuos que se incorporan a él son degradadas, varía de acuerdo con su naturaleza; en esto juegan papel importante los tipos de enlaces químicos que tiene cada tipo de sustancia y las enzimas requeridas para romper tales enlaces, las sustancias con las cuales se encuentra asociada, etc. Como es lógico suponer, estos factores interactúan con las condiciones del suelo (temperatura, acidez, humedad, etc.) que afectan el crecimiento de los microorganismos y el funcionamiento de las enzimas que ellos sintetizan.

De las sustancias orgánicas de origen vegetal, las hemicelulosas y la celulosa son más fácilmente degradables por los microorganismos que la lignina. Esta última es una de las sustancias naturales de origen vegetal más resistentes a la descomposición por microorganismos (Broadbent, 1957). El almidón presenta una biodegradabilidad intermedia. La quitina que proviene principalmente de células de hongos y del exoesqueleto de los artrópodos, es relativamente

resistente a la degradación biológica, aunque esto parece deberse más a las sustancias con las cuales se encuentra asociada que a la estructura de la quitina en sí. Las proteínas en general, son fácilmente biodegradada (Gray y Williams, 1971).

4.2.2. Factores que Afectan la Rata de Descomposición.

Además de la naturaleza química de las sustancias, hay otros factores como la temperatura, la humedad, el pH, el tipo de arcilla, etc. que afectan la descomposición de la materia orgánica del suelo. Como ya se mencionó, puede afirmarse que en general aquellos factores que afectan la actividad enzimática y el crecimiento microbiano afectarán también la rata de descomposición de la materia orgánica.

La temperatura es uno de esos factores. Es bien conocido el hecho de que la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo a ratas más altas a medida que aumenta la temperatura hasta cierto límite (Jenny, 1950). Este hecho explica en muchos casos el mayor contenido de materia orgánica en suelos de zonas altas del trópico, comparadas con suelos en posiciones más bajas (Tabla 8).

Considerando un sitio en particular, la velocidad de descomposición de la materia orgánica se ve afectada por la profundidad en el perfil y el tipo de cobertura vegetal, ya que estos factores

afectan la temperatura del suelo.

TABLA 8. Relación entre el contenido promedio de materia orgánica de los suelos de varias regiones de Colombia, la altitud y la temperatura.*

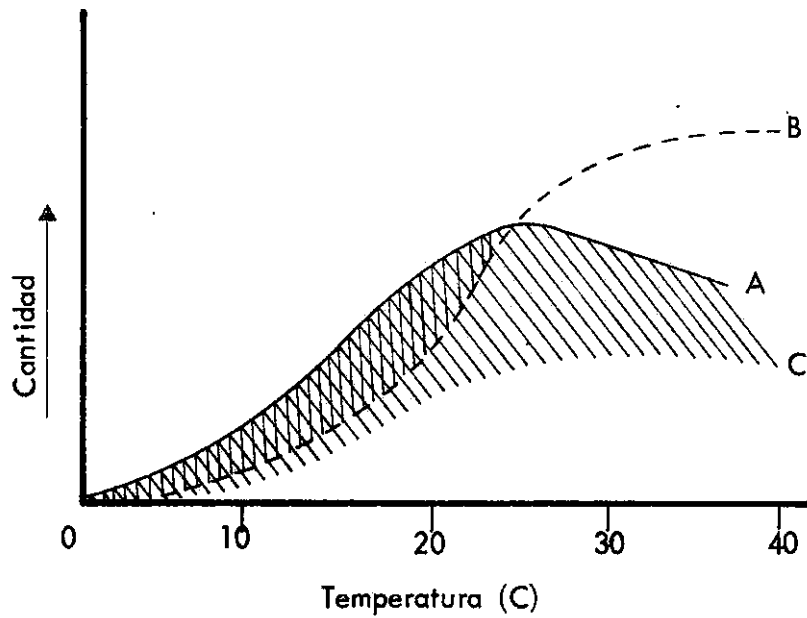
| Región | Temperatura media anual (° C) | Altitud Media (m) | Materia Orgánica (%) |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Páramo (Cundinamarca) | 10 | 3.400 | 24,0 |
| Sabana de Bogotá | 14 | 2.600 | 12,0 |
| Zona cafetera | 19 | 1.400 | 8,0 |
| Valle del Cauca | 24 | 1.000 | 4,2 |
| Llanos Orientales | 27 | 300 | 3,4 |
| Costa Atlántica | 28 | 100 | 2,5 |

* Adaptada de Lora, 1971 .

La aireación y la humedad del suelo son dos factores que generalmente están asociados y afectan los procesos de descomposición de la materia orgánica. En condiciones anaeróbicas (baja disponibilidad de oxígeno) el proceso de descomposición de la materia orgánica es menos eficiente que en condiciones de alta aireación. Por otra parte, los productos finales de la descomposición son diferentes. Mientras que en condiciones aeróbicas el carbono que no es incorporado a las células de los microorganismos se libera como CO_2 , en condiciones anaeróbicas ese carbono se libera como metano (CH_4) o como ácidos

orgánicos (láctico, acético, butírico). Estos últimos productos pueden llegar a concentraciones tales, que inhiben el posterior crecimiento de los microorganismos y en esta forma se detiene el proceso. Por estas razones la descomposición de la materia orgánica es más lenta bajo condiciones anaeróbicas que bajo un amplio suministro de oxígeno (Alexander, 1961).

El balance entre los procesos de aporte de materia orgánica al suelo y mineralización está determinado en gran parte por la interacción de la temperatura y la humedad, como lo ilustra la Figura 6. Se puede observar que bajo condiciones aeróbicas no ocurre acumulación de materia orgánica a temperaturas superiores a 25°C, pues en ese rango el proceso de descomposición es más rápido que el de acumulación. En contraste, bajo condiciones anaeróbicas ocurre acumulación aun hasta temperaturas próximas a 40°C. Por otra parte, este hecho puede explicar la relación que se ha observado entre el relieve, particularmente el microrrelieve, y la acumulación de materia orgánica. En suelos pendientes o suavemente ondulados el ambiente tiende a ser anaeróbico en los sitios cóncavos, por lo cual allí se acumula más materia orgánica (por un proceso denominado paludización) que en los sitios convexos donde el medio es predominantemente aeróbico (Buol, Hole y McCracken, 1973; Mohr y Vanbaren, 1959).



A : Producción de residuos orgánicos

B : Descomposición de materia orgánica en condiciones aeróbicas

C : Descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas

Las áreas sombreadas indican acumulación de materia orgánica.

FIGURA 6. Influencia de la temperatura y la humedad en la producción de residuos orgánicos por fotosíntesis y en la descomposición por microorganismos (Adaptada de Senstius, 1958).

Aunque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo dentro de un rango amplio de pH, el proceso se favorece ampliamente cuando se tiene condiciones cercanas a la neutralidad. El encalamiento de suelos ácidos generalmente acelera la descomposición de la materia orgánica (Raheja, 1966).

El contenido de nitrógeno es un factor importante en la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo (Raheja, 1966). En general se considera que la tasa de descomposición de un material orgánico dado es proporcional a su contenido de nitrógeno. Sin embargo, es tal vez más importante tener en cuenta el contenido de nitrógeno con respecto al carbono, es decir la relación C/N. Un residuo orgánico con una relación C/N estrecha (cerca a 10), es más fácil de descomponer por los microorganismos que aquellos residuos con relación C/N amplia (superior a 30, aproximadamente).

La composición mineralógica de las arcillas es un factor que afecta notoriamente la tasa de descomposición de la materia orgánica en el suelo. Las arcillas interactúan en diversas formas con las moléculas orgánicas del suelo y el tipo de interacción depende en gran parte de la clase de mineral predominante (Greenland, 1965).

Los minerales de arcilla pueden adsorber moléculas orgánicas y con ello dificultan su descomposición por los microorganismos. Las arcillas de tipo amorfo como la alófana, tienen una mayor capacidad de adsorber moléculas orgánicas que las arcillas cristalinas (montmorillonita, caolinita, haloisita, por ejemplo) y, por tanto de retardar en mayor grado la mineralización (Wada y Inoue, 1967).

Se ha establecido que la presencia de minerales de arcilla

afecta la actividad enzimática en el suelo (Aomine y Kobayashi, 1964 A). Las arcillas amorfas como la alófana causan inhibición de ciertas enzimas como las proteasas y aunque la montmorillonita y la halloisita también inhiben la actividad de esas enzimas, el efecto de la alófana es notoriamente más severo (Aomine y Kobayashi, 1964 B). Sin embargo, los mismos autores, 1966, encontraron que la montmorillonita puede causar una mayor inhibición de ciertas enzimas, como la beta-amilasa, que la alófana. Estos resultados permiten pensar que el efecto relativo de diferentes minerales de arcilla en la actividad enzimática varía de acuerdo con el tipo de enzimas. La disminución de la actividad enzimática causada por las arcillas puede deberse a que estas últimas adsorben las enzimas ó a que funcionan como verdaderos inhibidores enzimáticos (Kobayashi y Aomine, 1967).

Indirectamente los minerales de arcilla pueden afectar la tasa de descomposición de la materia orgánica al ejercer influencia sobre la disponibilidad de algunos nutrimentos para los microorganismos como el P. Los suelos de origen volcánico en los cuales predomina la alófana como mineral de arcilla, tienen una alta capacidad de fijación de fósforo (Rajan, 1973), lo cual ha sido comprobado en Andepts de Colombia (León, 1964; Luna, 1973). En ciertos casos la baja disponibilidad de fósforo puede ser un factor limitante para el crecimiento de los microorganismos del suelo (Stotsky y Norman, 1961). Por esta

razón aplicaciones de fósforo a suelos volcánicos favorecen la mineralización de la materia orgánica, tal como lo muestra la Figura 7 (Munévar, 1974).

El efecto combinado de los mecanismos mencionados (adsorción de moléculas orgánicas, disminución de la actividad enzimática y disminución de la disponibilidad de fósforo) parece ser el determinante de la baja mineralización y la subsecuente acumulación de materia orgánica en suelos alofánicos.

4.3. FORMACION DEL HUMUS.

Actualmente se considera que la formación de las sustancias húmicas en el suelo es un proceso complejo de dos fases : a) Descomposición de los residuos vegetales y animales originales dando compuestos más simples y b) una subsecuente síntesis de estructuras orgánicas específicas de alto peso molecular. Se piensa que la base de la formación de las partículas primarias de las sustancias húmicas es la condensación de un compuesto aromático del tipo de los polifenoles con un compuesto nitrogenado del tipo de los aminoácidos o los péptidos (Kononova y Aleksandrova, 1959).

En estos procesos de descomposición y resíntesis intervienen activamente los microorganismos del suelo. La fracción nitrogenada de las sustancias húmicas se cree que sea el producto de resíntesis microbial ya que las formas orgánicas de nitrógeno

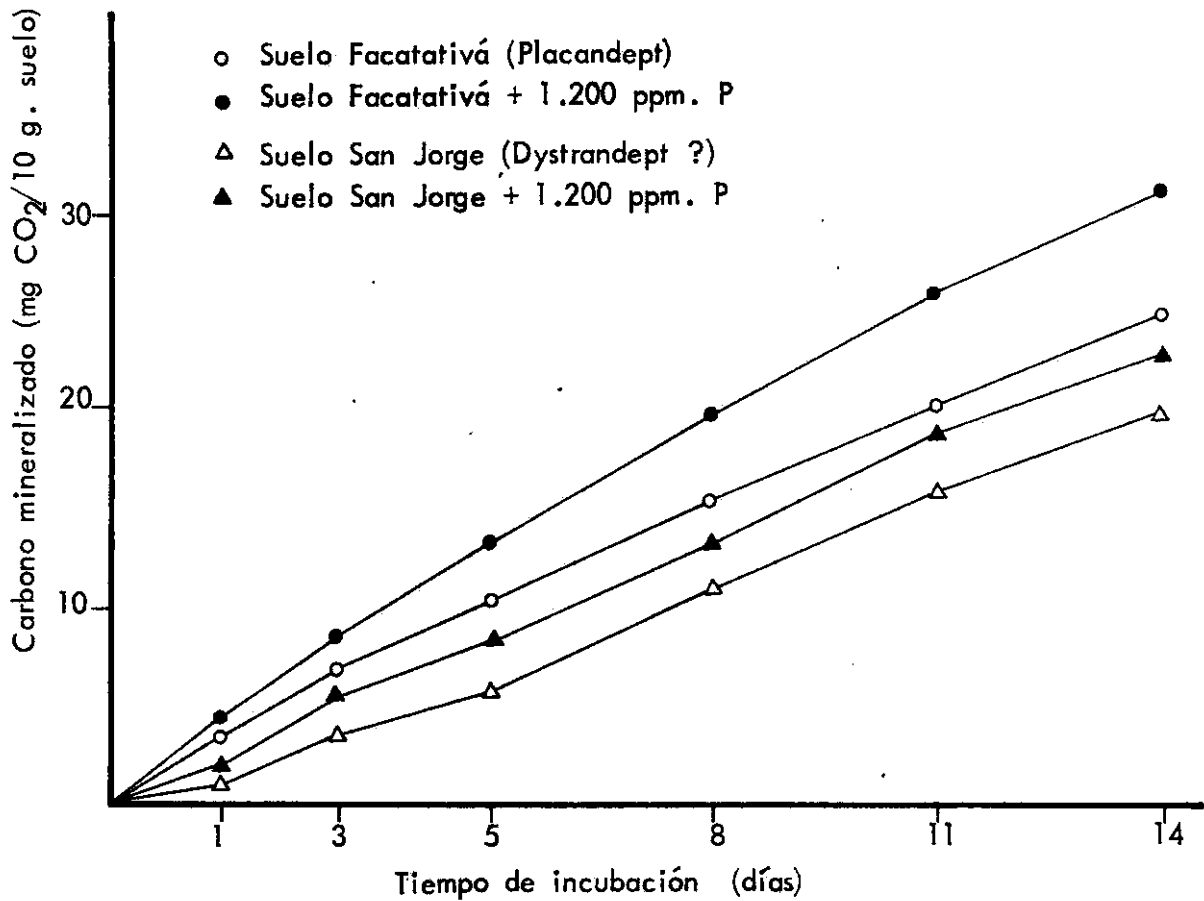


FIGURA 7. Producción acumulada de CO₂ por dos suelos volcánicos incubados solos y con Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O (Tomado de Munévar, 1974).

de los residuos originados son generalmente utilizados en forma rápida por los microorganismos.

4.4. EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS Y SU SIGNIFICADO.

El contenido de materia orgánica de los suelos varía dentro de un rango muy amplio. Algunos suelos presentan contenidos tan bajos como 0.1% y en otros la materia

orgánica puede llegar al 95% (Raheja, 1966). El porcentaje de materia orgánica se ha utilizado como un criterio para agrupar los suelos, principalmente en dos categorías : suelos minerales y suelos orgánicos. Para algunos (Raheja, 1966) los suelos minerales son aquellos que tienen menos de 5% de materia orgánica y suelos orgánicos son aquellos con más de 20%. En Colombia algunos investigadores (Cervantes, León y Marín, 1970) han considerado pertinente agrupar los suelos en dos categorías : aquellos con más de 10% de materia orgánica y aquellos con menos de este valor. Esta agrupación se ha hecho con el fin de determinar algunas implicaciones del contenido de materia orgánica en la fertilidad de los suelos.

El sistema moderno de clasificación de suelos de los Estados Unidos tiene en cuenta el contenido de materia orgánica como un criterio en la definición de algunos horizontes diagnósticos (mólico y úmblico) y para diferenciar suelos orgánicos (orden Histosoles) de los suelos minerales. Para que un suelo sea considerado un Histosol debe tener un contenido de materia orgánica que debe ser superior a un valor comprendido entre el 20 y el 30% según el contenido de arcilla en el material mineral (Boul, Hole y McCracken, 1973).

Como se mencionó antes, el contenido de materia orgánica del suelo está relacionado con la altitud y con su factor asociado, la temperatura (Cervantes, León y Marín, 1970). Esto hace que en Colombia las distintas regiones naturales presenten diferentes valores de materia orgánica (Tabla 8).

La materia orgánica ejerce una marcada influencia en las propiedades químicas

y físicas y en la actividad biológica del suelo, por lo cual afecta notoriamente su fertilidad.

Ya se mencionó la contribución de la materia orgánica a la fertilidad del suelo a través del suministro de formas disponibles de nutrimentos como N, P y S que son productos del proceso de mineralización.

Los coloides orgánicos del suelo contribuyen a la capacidad de intercambio de cationes. La capacidad de intercambio de cationes de la materia orgánica con base en unidad de peso, es mayor que la de la mayoría de las arcillas, por lo cual la importancia de la materia orgánica en la nutrición de las plantas es mayor de lo que indicaría su porcentaje. La retención de cationes, lo cual evita que muchos nutrimentos se pierdan por lavado, ocurre por lo menos de dos formas : una es la formación de sales de los ácidos carboxílicos que constituyen parte de la fracción orgánica, otra es la formación de estructuras moleculares en anillos, en la cual el catión del elemento nutriente hace parte del anillo para formar un complejo organometálico (quelatos). En el caso específico del hierro esta segunda modalidad tiene gran importancia y con base en este hecho se han desarrollado productos sintéticos para ser usados como fuentes de hierro y otros micronutrimentos (Broadbent, 1957).

El proceso de descomposición de la materia orgánica por microorganismos del suelo tiende a causar reducción del medio. Esto causa que algunos cationes de Fe y Mn, por ejemplo, pasen de una forma oxidada a una más reducida (divalente). Estas formas reducidas ofrecen una mayor disponibilidad para las plantas, por lo cual la

actividad microbiana incrementada por la descomposición de materia orgánica tiene un efecto favorable en la fertilidad del suelo.

Ciertos productos de la descomposición microbiana de la materia orgánica ejercen un efecto de solubilización de materiales parentales y formas insolubles de algunos materiales fertilizantes como rocas fosfóricas. Por otra parte, la materia orgánica o ácidos orgánicos formados en su descomposición interactúan con la fracción mineral del suelo y reducen la fijación de fósforo, es decir, el paso de formas disponibles a no disponibles (Clark, 1957).

La materia orgánica también ejerce efectos benéficos sobre las propiedades físicas del suelo. La adición de materia orgánica a suelos arcillosos los hace más fácilmente laborables y promueve el desarrollo de estructura granular y da mayor estabilidad a los agregados. Como resultado de esto se favorece la aireación y la infiltración. La escorrentía se reduce, lo mismo que los riesgos de erosión. Como se reduce la formación de costras, la emergencia de las plántulas se favorece. En suelos arenosos la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de humedad y con esto se reducen los riesgos de pérdida de nutrientes por lavado (Clark, 1957).

4.5. MANEJO DE LA MATERIA ORGANICA.

La materia orgánica del suelo es un material que está sufriendo permanentemente transformaciones que conforman un ciclo. Esto equivale a decir que simultáneamente hay procesos que significan una disminución del contenido de materia orgánica

y otros procesos que constituyen aportes (Bartholomew, 1957).

El contenido de materia orgánica del suelo en un momento dado depende de la rata de descomposición debida a la actividad de los microorganismos y de la cantidad de residuos orgánicos que se incorporan al suelo. Aquí no se están considerando las pérdidas masivas por erosión. Como muchos de los efectos benéficos de la materia orgánica se derivan de su descomposición, no parece lógico que la mejor manera de mantener un alto nivel de materia orgánica sea reduciendo la rata de descomposición. Por otra parte esto sería poco práctico. Por consiguiente la única alternativa práctica para mantener o elevar el nivel de materia orgánica consiste en aumentar los aportes de residuos al suelo.

La incorporación de residuos orgánicos al suelo es una práctica agrícola muy antigua. Materiales orgánicos de diferentes orígenes pueden ser aplicados al suelo con el fin de mejorar sus condiciones.

Los estiércoles son productos comunmente utilizados. La composición de los excrementos animales es variable, dependiendo de varios factores; uno de los más importantes es la especie animal (Tabla 9).

Los efectos benéficos de la aplicación de estiércol han sido ampliamente reconocidos. En Colombia se han registrado notorios incrementos en el rendimiento de diversos cultivos por la aplicación de estiércol (Rodríguez, 1972; Rodríguez y Lobo, 1972), aún en suelos con un alto contenido de materia orgánica y en presencia de fertilizantes minerales (Tabla 10).

TABLA 9. Composición de los excrementos sólidos y líquidos de animales adultos. *

| Especie animal | Nitrógeno (%) | | P ₂ O ₅ (%) | | K ₂ O (%) | | CaO (%) | |
|----------------|---------------|---------|-----------------------------------|---------|----------------------|---------|---------|---------|
| | sólido | líquido | sólido | líquido | sólido | líquido | sólido | líquido |
| Caballo | 0,52 | 1,20 | 0,30 | T** | 0,24 | 1,50 | 0,15 | 0,45 |
| Vacunos | 0,32 | 0,96 | 0,21 | 0,03 | 0,16 | 0,95 | 0,34 | 0,01 |
| Ovinos | 0,65 | 1,68 | 0,46 | 0,03 | 0,23 | 2,10 | 0,46 | 0,16 |
| Cerdos | 0,60 | 0,30 | 0,46 | 0,12 | 0,44 | 1,00 | 0,09 | -- |
| Gallinas | 1,00 | -- | 0,80 | -- | 0,40 | -- | -- | -- |

Adaptado de : Anderson, 1957.

** T = trazas

TABLA 10. Rendimiento (ton/ Ha) de la papa (solanum tuberosum) con diferentes aplicaciones de estiércol (gallinaza), N y P en un suelo de Rionegro, Antioquia (posiblemente un Andept).*

| Estiércol (ton/Ha.) | P ₂ O ₅ (Kg/ Ha) | | | | | | Promedio |
|------------------------|--|------|-------------------|------|-------------------|------|----------|
| | 75 N (Kg/ Ha) | | 150 N (Kg/ Ha) | | 300 N (Kg/ Ha) | | |
| | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | |
| 0 | 14,6 | 14,4 | 17,3 | 17,3 | 19,3 | 19,5 | 17,1 |
| 5 | 25,0 | 26,2 | 24,9 | 26,9 | 25,5 | 27,7 | 26,0 |
| 10 | 29,4 | 30,4 | 23,7 | 29,2 | 29,6 | 29,9 | 29,5 |
| Promedio | 23,0 | 23,7 | 23,6 | 24,5 | 24,8 | 25,7 | |

* Adaptada de Rodríguez, 1972.

Los principales beneficios de la aplicación de estiércol son tal vez indirectos a través del efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, el estiércol contiene ciertas cantidades de nutrimentos (N-P-K) (Anderson, 1957).

Otra práctica realizada comunmente con el fin de aumentar el contenido de materia orgánica del suelo es el uso de compost. La elaboración del compost es un proceso microbiológico en el cual se descomponen parcialmente residuos orgánicos. Una gran diversidad de residuos orgánicos pueden ser utilizados para fabricar compost (residuos de cosecha, estiércol, basuras, residuos de aguas negras, etc.). Uno de los principales fines que se busca con la fabricación de compost es reducir el contenido de substratos carbonáceos de fácil descomposición que podrían causar una inmovilización de N si se aplicaran los residuos frescos. En general, cuando el compost está listo para ser usado, se ha perdido aproximadamente el 50% de materia seca original. Con la fabricación del compost también se logra mejorar la condición física de los residuos (Reuszer, 1957).

La composición del compost varía de acuerdo con el material a partir del cual se fabrique.

Los efectos benéficos del compost son similares a los de los estiércoles. Con el uso de compost también se han obtenido aumentos notorios en los rendimientos de muchos cultivos. En general los efectos benéficos se observan solo después de varios años de aplicación continua. Es posible que en pequeñas explotaciones el uso

continuo de cantidades relativamente altas de compost suministren casi la totalidad de los nutrimentos requeridos por los cultivos. El uso de compost en grandes explotaciones agrícolas es un poco difícil y en casos podría resultar impráctico. Es necesario hacer consideraciones económicas y de tipo práctico antes de decidir usar compost en fincas grandes. En experimentos a largo plazo, realizados en Europa, se ha observado igual o mayor efecto benéfico en las propiedades del suelo y en los rendimientos con el uso de residuos frescos de cosecha que con compost fabricado a partir de los mismos residuos y aplicados en cantidades equivalentes (Reuszer, 1957).

Los residuos de cosechas pueden usarse también como mulch. Se ha comprobado que el mulch disminuye notoriamente la erosión del suelo y las pérdidas por escorrentía. El mulch regula la temperatura del suelo, evitando altas temperaturas en condiciones tropicales; además, mantiene la estructura del suelo, ya que favorece la actividad biológica. Como consecuencia de estos efectos benéficos, se han obtenido aumentos significativos en el rendimiento de varios cultivos al usar mulch (Lal, 1975).

4.6. RESUMEN

La materia orgánica del suelo consiste de un grupo muy amplio de sustancias provenientes de plantas, animales y microorganismos. La fracción no-húmica de la materia orgánica incluye los residuos inalterados. Las sustancias que han sido ampliamente modificadas constituyen la fracción húmica. La fracción húmica es la más activa en el suelo ya que tiene mayor habilidad para reaccionar con moléculas orgánicas, iones inorgánicos, células microbianas, coloides, etc.

En el suelo la materia orgánica se transforma por la acción de los microorganismos, los cuales derivan de ella el carbono y/o la energía para su crecimiento. En el proceso de descomposición gran parte del carbono se libera como dióxido de Carbono (CO_2). Algunas formas orgánicas de ciertos nutrientes (N-P-S) son convertidas en formas inorgánicas disponibles para las plantas (mineralización).

Varios factores influyen en la rata de descomposición de la materia orgánica. La naturaleza química de los residuos es un factor importante. También influyen la temperatura, la humedad, la aireación, el pH, el contenido de nitrógeno y la composición mineralógica de las arcillas.

Las arcillas amorfas como alófana tienden a retardar la rata de mineralización de la materia orgánica a través de varios mecanismos.

Las sustancias húmicas se forman como resultado de un proceso de descomposición de residuos, seguido de una resíntesis de estructuras orgánicas específicas en la cual participan los microorganismos.

El contenido de materia orgánica de los suelos varía en un rango bastante amplio. En Colombia, y en otros lugares de la zona tórrida, el contenido de materia orgánica del suelo aumenta a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar.

La materia orgánica ejerce una marcada influencia en las propiedades químicas y físicas y en la actividad biológica del suelo, por lo cual afecta notoriamente

su fertilidad. Los coloides orgánicos contribuyen a la capacidad de intercambio de cationes. Los compuestos orgánicos, sus productos de descomposición, y el proceso de transformación en sí, aumentan la disponibilidad de ciertos nutrimentos. Aspectos físicos del suelo tales como aireación, infiltración, capacidad de retención de humedad, y estabilidad de agregados se ven favorecidos por la materia orgánica.

La materia orgánica del suelo puede conservarse o aumentarse mediante diversas prácticas de manejo como aplicaciones de estiércol, compost y otros residuos, así como del uso de mulch, cultivos de cobertura y rotaciones de cultivos.

4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley & Son, 1961. 472 p.
2. ANDERSON, M. S. Farm manure. In: Stefferud, A. ed. Soil. The yearbook of agriculture. Washington D.C., U.S.D.A. U.S. Govt. Printing Office, 1957. pp. 229-237.
3. AOMINE, S. and KOBAYASHI, Y. Effect of allophane on the activity of some enzymes. Inter. Congr. Soil Sci. Trans. 8th. Bucharest. 3:697-703. 1964.
4. ——— . Effect of allophanic clays on the enzymatic activity of protease. Soil Sci. Plant. Nutr. 10:28-32. 1964.
5. ——— . Effects of allophanic clays on the enzymatic activity of beta -amylase. Soil Sci. Plant. Nutr. 12:7-12. 1966.
6. BARTHOLOMEW, W. V. Maintaining organic matter. In: Stefferud, A. ed. Soil. The yearbook of agriculture. Washington D.C., U.S.D.A. U.S. Govt. Printing office, 1957. pp. 245-252.
7. BROADBENT, F. E. Organic matter. In: Stefferud, A. ed. The yearbook of agriculture. Washington D.C., U.S.D.A. U.S. Govt printing office, 1957. pp. 151-157.

8. BUOL, S. W.; HOLE, F. D. and McCRAKEN, R. J. Soil genesis and classification. Iowa State, University Press, 1973. 360 p.
9. CERVANTES, O. A.; LEON, S. y MARIN, G. Relaciones entre pH, aluminio y materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Revista ICA 5:43-64. 1970.
10. CLARK, F. I. Living organisms in the soil. In: Stefferud, A. ed. Soil. The yearbook of agriculture. Washington D.C. U.S.D.A. U.S. Govt Printing office, 1957. pp. 157-165.
11. GRAY, T. R. G. and WILLIAMS, S. T. Soil micro -organisms. New York, Hafner Publishing, 1971. 240 p.
12. GREENLAND, D. J. Interaction between clays and organic compounds in soil. I Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. Soil Fert. 28:415-425. 1965.
13. JACKS, G. V.; TATERNIER, R. and BOALCH, D. H. Vocabulario multilingue de la ciencia del suelo. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Roma. FAO, 1960. 428 p.
14. JENNY, H. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical foresto soils. Soil Sci. 69:63-69. 1950.

15. KOBAYASHI, Y. and AOMINE, S. Mechanisms of inhibitory effect of allophane and montmorillonite on some enzymes. *Soil Sci. Plant Nutr.* 13:189-194. 1967.
16. KONONOVA, M. M. and ALEKSANDROVA, I. V. The biochemistry of humus formations and some problems of plant nutrition. *Soil Fertilizers* 22:77-83. 1959.
17. LAL, R. Role of mulching techniques in tropical soil and matter management. Ibadan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture. Technical Bulletin No.1, 1975. 38 p.
18. LEON, A. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. *Agr. Trop. (Colombia)* 20:442-451. 1964.
19. LORA, S. R. Materia orgánica y nitrógeno en el suelo. In: Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones y fertilizantes. Bogotá, 1971.
20. LUNA, C. Suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1973. p. 157.
21. MOHR, E. C. J. and VAN BAREN, F. A. Tropical soils; a critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. Netherlands. 1959. 498 p.

22. MUNEVAR, F. Some factors affecting the mineralization of organic matter in volcanic ash soils. Thesis Mg. Sci. Raleigh, North Carolina State University. 1974. 101 p.
23. RAHEJA, P. C. Organic matter and carbon - nitrogen relations - hips. In: Soil Productivity and crop growth. New York, Publishing House, 1966. pp. 58-92.
24. RAJAN, S. S. S. Phosphorus adsorption characteristics of Hawaiian soils and their relationship to equilibrium phosphorus concentrations required for maximum growth of miller. Plant Soil 39:519-532. 1973.
25. REUSZER, H. W. Composts peat and sewage sludge. In: Stefferud, A. ed. Soil. The Yearbook of Agriculture. Washington D. C., U.S.D.A. U.S. Govt printing office, 1957. pp. 237-245.
26. RODRIGUEZ, J. M. Fertilización de la rotación papa - avena en suelos volcánicos. Revista ICA 7:305-328. 1972.
27. ———. y LOBO, A. Fertilización de hortalizas en suelos volcánicos en Antioquia y Caldas. Revista ICA 7:219-232. 1972.
28. RUSSELL, E. J. and RUSSELL, E. W. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Madrid, 1968. 801 p.

29. SENSTIUS, M. V. Climax forms of rock - weathering. *Amer. Scientist.* 46:355-367. 1958.
30. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Committee report. Glossary of soil science terms. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:330-351. 1965.
31. STEVENSON, F. J. Organic matter reactions involving herbicides in soil. *Quality* 1:333-343. 1972.
32. STOTSKY, G. and NORMAN, A. G. Factors limiting microbial activities in soil : 1. The level of substrate, nitrogen and phosphorus. *Arch. Mikrobial.* 40:341-369. 1961.
33. WADA, K. and INOUSE, T. Retention of humic substances derived from rotted clover leaves in soils containing montmorillonite and allophane. *Plant. Nutr.* 13:9-16. 1967.