

LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

CAPÍTULO 16

CONTENIDO

- ❖ Importancia de la materia orgánica en el suelo
- ❖ Contenido y distribución de la materia orgánica en el suelo
 - Distribución en el interior del suelo
 - Distribución espacial
 - Niveles críticos
- ❖ Evaluación de la materia orgánica del suelo
 - Análisis cuantitativos totales
 - Calcinación
 - Método de Walkley y Black
 - Oxidación con peróxido de hidrógeno
 - Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo
 - Análisis de caracterización cualitativos

OBJETIVOS

- ❖ Comprender la importancia de la materia orgánica como componente activo del suelo
- ❖ Entender como se distribuye la materia orgánica del suelo y los factores que controlan esa distribución
- ❖ Conocer los métodos más utilizados para evaluar la materia orgánica que tiene el suelo



Desde un punto de vista netamente práctico, pensando en la explotación sostenible del suelo, la materia orgánica puede considerarse como el principal componente sólido que posee este recurso natural, ya que de alguna manera se relaciona con casi todas las propiedades del mismo. Según el Soil Survey Laboratory (SSL, 1995, 1996), la materia orgánica del suelo, llamada también **humus**, se define como la fracción orgánica que posee el suelo, excluyendo los residuos vegetales y animales sin descomponer.

1. IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

La materia orgánica, en todas sus diferentes formas, tiene efectos marcados en casi todas las propiedades del suelo, como puede verse en el resumen que se presenta en la Tabla 16.1.

TABLA 16.1. Efecto general de la materia orgánica sobre algunas propiedades del suelo.

PROPIEDAD	EFFECTO AL AUMENTAR EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA
Estructura	Favorece su formación, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados.
Porosidad	Aumenta la cantidad de macroporos.
Aireación	Aumenta el volumen de aireación y mejora la circulación del aire.
Infiltración	Aumenta su velocidad.
Drenaje	Aumenta la velocidad de circulación del agua dentro del suelo.
Humedad	Aumenta la capacidad de retener agua, sobre todo a bajas tensiones y/o si el suelo es arenoso. En general, 1 g de carbono orgánico retiene 1.5 g de agua, a 15 bar y 3.5 g de agua, a 0.3 bar, aproximadamente, según el SSL (1995).
Consistencia	Aumenta la friabilidad, disminuye la pegajosidad, la plasticidad y el encostramiento superficial; con esto se facilita el laboreo del suelo ya que éste le opone menor resistencia a los implementos y a las máquinas; también en este sentido tiene efectos económicos al requerirse menos potencia y menos gasto de combustible.
Erodabilidad	Disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión.
Color	Oscurece el suelo facilitando su calentamiento, con lo cual mejora la germinación de las semillas, el desarrollo radicular y, en general, la nutrición de la planta.
CIC	Incrementa su valor. En términos generales, 1 g de carbono orgánico aporta entre 3 y 4 meq a la CIC (SSL, 1995).
Capacidad buffer	Aumenta.
pH	Disminuye.
Nutrientes	Aporta algunos (N, P, S principalmente) durante el proceso de mineralización; puede ocasionar fijación de algunos elementos menores; la disponibilidad de algunos nutrientes se puede ver reducida debido a la formación de complejos estables en los cuales se ven involucrados, como es el caso de la formación de quelatos con Cu, Mn, Zn, Fe, entre otros, o a procesos de adsorción selectiva de algunos iones.
Contaminación	La materia orgánica almacena compuestos y/o elementos tóxicos como algunos ingredientes activos no degradables de agroquímicos o metales pesados (Pb, Ni, etc.), que llegan al suelo, dificultando su eliminación de este medio.
Hidrofobicidad	Los compuestos hidrofóbicos que se acumulan en el suelo son orgánicos; ellos alteran las propiedades hídricas del suelo que los posee.
Biota	La principal fuente de energía para los organismos que viven en el suelo es la materia orgánica del mismo; algunos productos de su alteración pueden ser tóxicos para algunos de ellos.

Otros beneficios notables de la materia orgánica son los que tienen que ver con su influencia en la nutrición vegetal. Está ampliamente demostrado que la aplicación de abonos orgánicos incrementa la producción de los cultivos, inclusive cuando son aplicados en suelos que presentan altos contenidos de materia orgánica nativa, como puede verse en los ejemplos que se muestran en las Tablas 16.2 y 16.3. Sin embargo, una discusión amplia sobre el tema escapa a las posibilidades de este texto aunque en el Capítulo 17 se presenta alguna información relacionada con él.

TABLA 16.2. Efecto de la aplicación de gallinaza sobre la producción de algunos cultivos en Antioquia. (Resultados seleccionados de Muñoz, 1994).

CULTIVO	SUELO	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%)	MEJOR DOSIS DE GALLINAZA (kg ha ⁻¹)	PRODUCCIÓN (kg ha ⁻¹)		VARIACIÓN EN PRODUCCIÓN (kg ha ⁻¹)
				SIN GALLINAZA	CON MEJOR DOSIS	
Fríjol	Andisol	2.7	1000	1190	1592	402
Fríjol	Aluvial	1.5	1000	1358	1721	363
Papa	Andisol	20	5000	18200	26500	8300
Papa	Andisol	20	10000	17000	28500	11500
Papa	Andisol	-	3000	16200	20800	4600
Papa*	-	20	1000	22800	30500	7700
Maíz	Andisol	19	1000	4080	4820	740
Cebolla rama	Andisol	20.5	8000	29127	31111	2084

* Promedio de 5 sitios en el altiplano norte de Antioquia.

TABLA 16.3. Efecto de la aplicación de gallinaza en la producción de tomate en dos sitios de Colombia. (Tomados de Muñoz, 1995).

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%)	MEJOR DOSIS DE GALLINAZA (kg ha ⁻¹)	PRODUCCIÓN (kg ha ⁻¹)		VARIACIÓN EN PRODUCCIÓN (kg ha ⁻¹)
				SIN GALLINAZA	CON MEJOR DOSIS	
Rionegro	Antioquia	19.2	10000	10900	30300	19400
Rionegro	Antioquia	17.5	10000	4000	25700	21700
Tulua	Valle del Cauca	2.7	1000	53740	64240	10500
Restrepo	Valle del Cauca	2.0	1000	40770	47770	7000

Los efectos expuestos en las tablas anteriores, así como de los analizados en el Capítulo 1, destacan la gran importancia que tiene la materia orgánica en el comportamiento del suelo, por lo que es tenida en cuenta, ampliamente, en su clasificación taxonómica, como se trata más adelante.

Por definición, el orden de los Histosoles agrupa todos aquellos suelos cuyo material parental está compuesto por sedimentos orgánicos. El sistema taxonómico americano (Soil Survey Staff, SSS, 1999, 1998) considera que un **material** es **orgánico** cuando tiene más de 20% de carbono orgánico, si no se satura con agua más de 30 días acumulativos al año o, cuando tiene un contenido de carbono orgánico menor a 18% y proporcional al contenido de arcilla, si se satura con agua por más de 30 días acumulativos al año. Debe tenerse presente que las diferenciaciones anteriores no son para suelos orgánicos.

Prácticamente, todos los epipedones tienen en su definición el contenido de materia orgánica, como uno de los requisitos que deben cumplir; así, por ejemplo, el epipedón melánico debe tener 6% o más de carbono orgánico en promedio; el mólico, el úmbrico y el antrópico deben tener más de 0.6% de carbono orgánico y el ócrico, entre otras características, no cumple con los contenidos de carbono orgánico establecidos para los demás epipedones.

Aparte de los materiales orgánicos, otros materiales también se definen, en parte, con base en su contenido de materia orgánica; tal es el caso de los **materiales ándicos** que deben tener menos de 25% de carbono orgánico y los **materiales espódicos** que deben tener 0.6% o más de carbono orgánico.

Los endopedones ágrico, sómbrico y espódico tienen como característica genética común el ser iluviales de humus. Otra buena cantidad de horizontes diagnósticos de suelos, aunque no se definen explícitamente por el contenido o la calidad de la materia que poseen, deben cumplir ciertos requerimientos que se relacionan directamente con ella, como es el color.

En varios órdenes, en las diferentes categorías, hay partículas que se utilizan para destacar la presencia de materia orgánica en cantidades altas para la respectiva clase de suelos que se clasifica; así por ejemplo se tienen:

- Hum y Umbr en subórdenes de Espodosoles e Inceptisoles, respectivamente.
- Fulv, Fulvi, Hum, Humi, Melan, Sombri y Umbr, al nivel de gran grupo.
- Anthropic, Cumulic, Histic, Humaqueptic, Humic, Mollic, Pachic, Plaggeptic, Sombric, Thaptic, Thapto-histic, Udollic, Umbreptic y Umbric, al nivel de subgrupo.

2. CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Según Eswaran et al (1993) el carbono almacenado en los suelos en el mundo es casi tres veces el almacenado en la biomasa vegetal ubicada en la superficie terrestre y dos veces el que se encuentra en la atmósfera, como lo muestran los datos de la Tabla 16.4. De los 1576 Pg de carbono almacenados en los suelos, el 32% (≈ 506 Pg) están en los suelos de la zona tropical y de éste, el 40% se encuentra en suelos con cobertura forestal.

TABLA 16.4. Distribución general de las reservas de Carbono, según varios autores citados por Eswaran et al (1993).

RESERVORIO	CARBONO ALMACENADO (Pg)*
Biomasa vegetal terrestre	550
Suelos	1576
Atmósfera	750
Océanos	38000
Combustibles fósiles	4000
Total	44876

* Pg (Petagramos): 1 Pg es equivalente a 10^9 t.

La cantidad y el tipo de materia orgánica de un suelo, como se mencionó en el Capítulo 1, dependen del aporte de materiales orgánicos que se haga a dicho suelo, así como de la velocidad

con la cual éstos se descompongan. En ese capítulo se trató lo relacionado con los aportes de materia orgánica que hace la vegetación al suelo.

La velocidad de descomposición es bastante variable pues depende de muchos factores, entre los que se encuentran:

- **Tipo de residuos vegetales aportados:** No todos los órganos vegetales que caen al suelo tienen la misma resistencia a los procesos de descomposición, como lo demuestran los resultados, reportados por Burbano (1989), para la vegetación arbórea en un bosque montano de Venezuela, ubicado entre 2000 y 2500 msnm., con temperatura promedio anual de 12.6 °C y precipitación media anual de 1500 mm., en donde las hojas tardaron en descomponerse totalmente 20 meses, en tanto que las ramas lo hicieron en 12.5 años.
- **Temperatura:** La tasa de descomposición se incrementa a medida que se aumenta la temperatura; Munévar (1991) sostiene que a temperaturas mayores a los 25 °C, en condiciones aeróbicas no hay acumulación de materia orgánica.
- **Humedad - aireación:** En condiciones anaeróbicas la descomposición es mucho más lenta que en condiciones aeróbicas.
- **pH:** La descomposición es más eficiente en condiciones cercanas a la neutralidad.
- **Relación C/N:** Este parámetro se relaciona linealmente con la mineralización de los materiales orgánicos, entendiéndose por **mineralización** las transformaciones del nitrógeno orgánico, hasta que es liberado en la forma de NH₃, (Orozco, 1999). Hasta hace poco tiempo se aceptaba que esta relación controlaba la actividad de los microorganismos y la facilidad con que se puede descomponer la materia orgánica que se le aporte al suelo, teniendo como límites críticos los siguientes valores, tomados de Orozco (1984):

C/N ≈ 10 ⇒ Descomposición fácil.

C/N > 30 ⇒ Descomposición difícil.

Hoy, como lo ilustra Orozco (1999), se está revaluando la relación anterior, con el argumento de que, tanto el N como el C, en el suelo o en un residuo orgánico, presentan diferentes posibilidades de acción en ellos, dependiendo de la fuente orgánica que los aporte; especial atención se está prestando a la posibilidad de cuantificar el **N de la biomasa**, así como el **C de polifenoles y de lignina**, en lugar de los totales, para estimar con mayor precisión las posibilidades de determinar la mineralización o la inmovilización del N de un determinado suelo o material orgánico.

- **Materiales inorgánicos del suelo:** La formación de complejos órgano-minerales protege la materia orgánica de la descomposición; este efecto es muy marcado en los Andisoles, debido a la presencia de materiales no cristalinos en la fracción arcilla, los cuales forman complejos sumamente estables con la materia orgánica, propiciando su acumulación al reducir drásticamente su mineralización.

Brady y Weil, citados por Cabrera (2000), agrupan los materiales orgánicos que se acumulan en el suelo, según el tipo de carbono que poseen, en:

- **Carbono activo:** Materia orgánica de alta calidad y fácilmente degradable. Está compuesta por la biomasa microbiana, los metabolitos libres, por otras sustancias no

húmicas y por los ácidos fúlvicos lábiles. Representan entre 10 y 20% de la materia orgánica del suelo y tienen una rata de recambio de 1.5 años aproximadamente.

- **Carbono lento:** Es una materia orgánica de menor calidad y de mayor dificultad para ser degradada. Está representado por tejidos vegetales finamente divididos, ricos en lignina. Tiene tasas de recambio de entre 15 y 100 años.
- **Carbono pasivo:** Compuesto principalmente por el humus formando complejos con las arcillas, por los ácidos húmicos y por las huminas. Tiene tasas de recambio de entre 500 y 5000 años y representa entre el 60 y el 90% de la materia orgánica total del suelo.

2.1. DISTRIBUCIÓN EN EL INTERIOR DEL SUELO

El contenido de materia orgánica en los suelos normalmente decrece en forma regular al aumentar la profundidad en el perfil; corrientemente, el contenido de materia orgánica es mayor en el horizonte A del suelo, con valores, algunas veces, muy superiores a los que presentan los otros horizontes (Figura 16.1a).

Con respecto a la distribución de la materia orgánica, expuesta en el párrafo anterior, se presentan algunas variaciones que la distorsionan, producidas por algunos procesos especiales en el suelo; por ejemplo, cuando se encuentran horizontes A de **suelos enterrados**, generalmente se presentan incrementos abruptos en el contenido de materia orgánica del suelo, a cierta profundidad dentro del perfil, donde se encuentran dichos horizontes enterrados. Esta distribución irregular del contenido de materia orgánica, a través del perfil, corresponde casi siempre a suelos que llevan la partícula **Fluv** en su nombre taxonómico, aunque, también, se presenta en subgrupos **Thaptic** (Figura 16.1b).

También se distorsiona el patrón de distribución normal de la materia orgánica cuando el suelo tiene un horizonte eluvial de materia orgánica, el cual tiene un contenido menor de aquella que el horizonte iluvial en el cual se está acumulando y que está subyaciendo al eluvial (Figura 16.1c).

En la Figura 16.1c, es evidente la pérdida de materia orgánica que se presenta en el segundo horizonte: un horizonte eluvial **álbico** en el cual, el contenido llega casi a cero a los 40 cm de profundidad; en cambio, en el tercer horizonte se está acumulando la materia orgánica perdida en el anterior, desarrollándose un horizonte iluvial **espódico**. El altísimo contenido de materia orgánica que presenta este suelo en el horizonte superficial, se debe a que ese horizonte está compuesto de materiales orgánicos (litter) que se han acumulado en la superficie del suelo.

Si se comparan las gráficas de las Figuras 16.1b y c, se observa que sus formas son muy similares; sin embargo, téngase en cuenta que reflejan procesos y condiciones muy diferentes de evolución de la materia orgánica de los suelos evaluados.

La Figura 16.1d presenta la distribución de la materia orgánica en un suelo con régimen de humedad ácuico, en el cual, en el segundo horizonte, se presenta un ligero incremento en el contenido de materia orgánica, debido a la acumulación de materiales provenientes del primer horizonte del suelo.

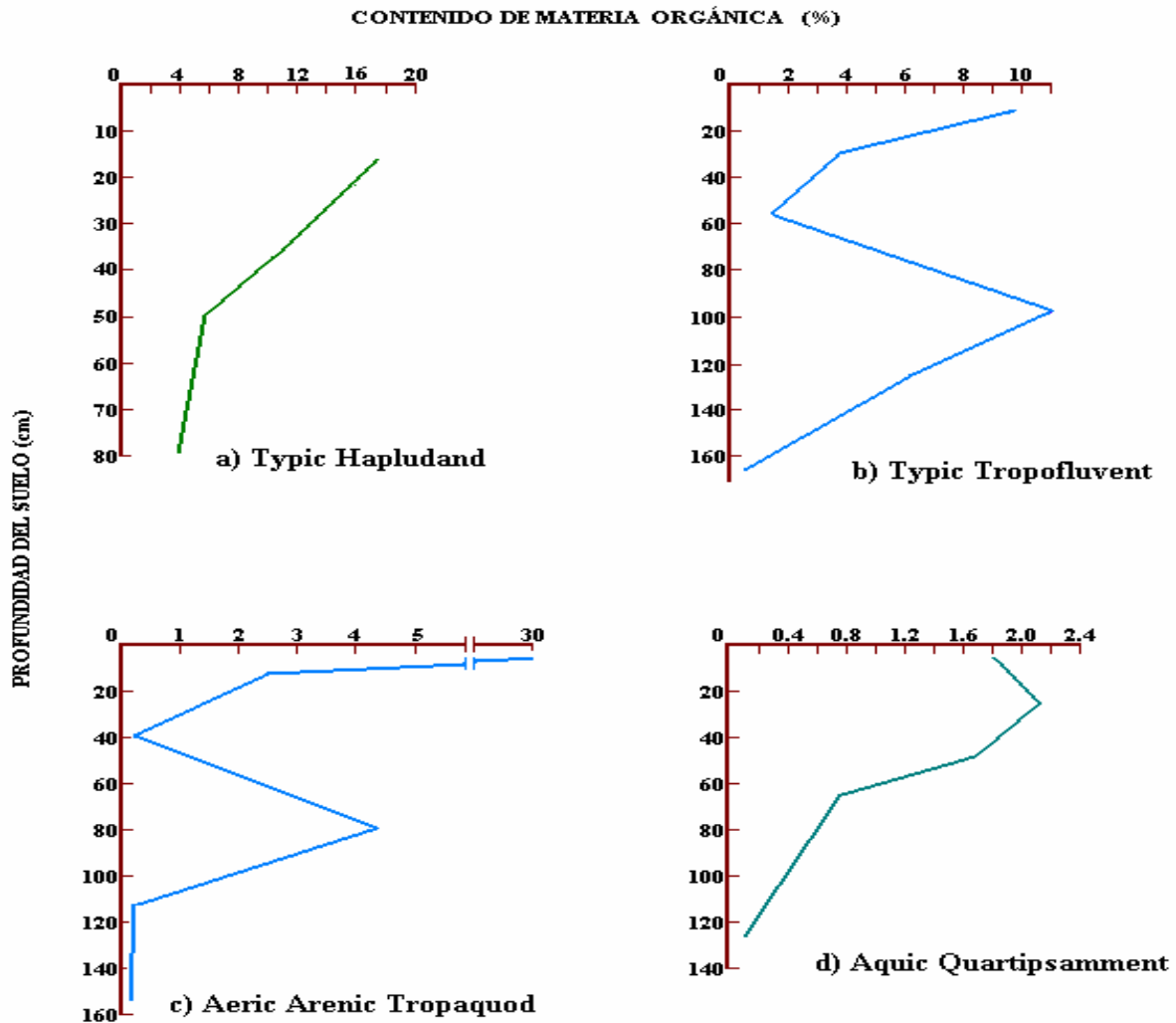


FIGURA 16.1. Algunos patrones de distribución de la materia orgánica en el interior del suelo: a y b. Oriente antioqueño (Jaramillo, sin publicar); c y d. Amazonia (Proradam, 1979). Los quiebres de dirección en las líneas marcan la profundidad en el centro del horizonte.

2.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Se acepta que hay una relación general directa entre el contenido de materia orgánica del suelo y la altitud: **a > altitud > acumulación de materia orgánica**. Este comportamiento está relacionado con el hecho de que al aumentar la altitud se reduce la temperatura, lo que ocasiona una disminución en la rata de descomposición de aquella, produciéndose su acumulación.

El autor de este documento analizó la información presentada por el IGAC (1988) para 58 perfiles modales de suelos del departamento de Caldas, distribuidos en todos los pisos altitudinales en las dos vertientes de la cordillera central colombiana. Encontró una correlación

altamente significativa estadísticamente (> 95%) entre la altitud y el contenido de carbono orgánico del horizonte A del suelo, aunque con un coeficiente de correlación bajo ($r = 0.547$).

Debe tenerse en cuenta que estas relaciones altitud – contenido orgánico del suelo son generales y que no siempre se presentan, sobretodo cuando se trabaja con áreas pequeñas, como lo han demostrado varios trabajos citados por Burbano (1989), en los cuales no se cumplió la relación establecida anteriormente.

En condiciones naturales, hay un equilibrio entre la acumulación y la mineralización de la materia orgánica aportada al suelo, permaneciendo su contenido más o menos constante a través del tiempo, dentro de un rango específico de valores; el cambio de cobertura de bosque a cultivo o a pradera produce pérdida de materia orgánica en el suelo; esta pérdida es mayor en las zonas más cálidas.

En Colombia, los contenidos de materia orgánica más bajos se presentan en los suelos de la media y alta Guajira, en buena parte Andisoles y los más altos se encuentran en los Andisoles de los pisos climáticos fríos (Jaramillo, Parra y González, 1994); este comportamiento se ilustra en la Tabla 16.5.

En la Tabla 16.5 se destaca la gran diferencia que se presenta entre los contenidos de materia orgánica de los Andisoles y el de los otros suelos, situación explicable, sólo en parte, por la gran diferencia climática que hay entre las zonas analizadas: los Andisoles se ubican en el piso frío, con temperatura promedio de 16°C, en tanto que las otras dos regiones corresponden al piso cálido y presentan temperaturas mayores a los 24°C.

TABLA 16.5. Contenido de materia orgánica (%) en el horizonte mineral superficial de suelos de algunas regiones de Colombia.

REGIÓN	n	MEDIA	MODA	DESV. EST*.	MÍNIMO	MÁXIMO	FUENTE
Guajira	77	1.16	0.34	0.98	0.12	4.55	IGAC, 1978.
Amazonia	53	3.83	4.53	2.43	0.69	11.94	PRORADAM, 1979.
Oriente	40	21.89	30.30	9.50	7.90	44.70	Jaramillo, 1995.
Antioqueño**							

* Desviación estándar.

** Solamente Andisoles.

Es sabido que en los Andisoles, la materia orgánica forma complejos muy estables con materiales inorgánicos no cristalinos que dificultan enormemente su degradación, favoreciendo que se acumule, lo que explica la mayor parte de las diferencias observadas entre los contenidos de materia orgánica de los Andisoles y los otros suelos que se encuentran a su alrededor, así como parte de las diferencias señaladas para la Tabla 16.5.

La diferencia que hay entre los suelos de la amazonia con los de la Guajira se explica por la diferencia que hay entre estas dos zonas con respecto a la precipitación que reciben, pues mientras que la amazonia recibe más de 2500 mm de lluvia al año, la parte de la Guajira incluida en la tabla no llega a recibir los 300 mm de precipitación al año; las diferencias altitudinales entre

ambas regiones no son importantes y no explican las diferencias observadas entre los contenidos de materia orgánica de los suelos de ambas.

2.3. NIVELES CRÍTICOS

Con el fin de realizar interpretaciones acerca del contenido de materia orgánica en el suelo, en relación con el aporte de N, principalmente, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992), ha propuesto los niveles críticos que se presentan en la Tabla 16.6. Cabe aclarar que estos criterios no son aplicables a suelos que presenten propiedades ándicas (ver Capítulo 20).

TABLA 16.6. Niveles críticos para el contenido de materia orgánica del suelo, en diferentes condiciones climáticas, para Colombia (Tomados de ICA, 1992).

CLIMA	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%) PARA NIVEL		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Cálido	< 2	2 - 3	> 3
Medio	< 3	3 - 5	> 5
Frío	< 5	5 - 10	> 10

De acuerdo con los niveles propuestos en la tabla anterior, al analizar la información que presenta el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1988) sobre el contenido de materia orgánica de los suelos de Colombia, se observa que en el país sólo se tienen altos contenidos de ella en las zonas altas de las cordilleras, principalmente en aquellas que presentan climas fríos y suelos con propiedades ándicas. En la mayor parte del territorio colombiano los suelos tienen contenidos bajos de materia orgánica.

3. EVALUACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La materia orgánica del suelo puede estudiarse evaluando su contenido o su composición. A su vez, el contenido puede establecerse en forma total, es decir, sin diferenciar ninguno de los componentes, o haciendo extracciones selectivas para fraccionarla en grupos de compuestos que luego son cuantificados.

Para fines prácticos, el estudio se centra en determinar la cantidad de materia orgánica total que presenta el suelo, sin establecer su composición; por esto, se pueden presentar problemas en la interpretación de los resultados de los análisis, así como en el manejo de los mismos, desde el punto de vista del manejo de la fertilidad del suelo. A continuación se exponen los principales análisis que se utilizan para hacer la cuantificación de la materia orgánica total que posee un suelo.

3.1. ANÁLISIS CUANTITATIVOS TOTALES

El contenido de materia orgánica total del suelo se puede determinar de varias maneras: por calcinación de la muestra, por oxidación de la muestra con dicromato de potasio y por oxidación de la muestra con peróxido de hidrógeno.

3.1.1. Calcínación

Este método determina el contenido total de materia orgánica que posee el suelo, completo o en alguna de sus fracciones. Debe tenerse presente que con este método se obtienen los valores más altos en el contenido de materia orgánica del suelo, ya que con él se volatilizan todas las formas de carbono orgánico presentes en la muestra. Lo anterior lo confirman los resultados encontrados por Jaramillo (1999), al someter Andisoles repelentes al agua a determinación del contenido de materia orgánica por calcínación (MOT) y por el método de Walkley y Black (MOW), presentados en la Tabla 16.7; se puede apreciar, en los resultados de esta tabla, que las diferencias entre los valores obtenidos pueden ser muy amplias y, además, que con el método de la calcínación se tiene la menor variabilidad en ellos.

TABLA 16.7. Contenido de materia orgánica en el horizonte A de Andisoles repelentes al agua, determinados por dos métodos diferentes. (Tomados de Jaramillo, 1999).

MÉTODO	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%)			C.V. (%)*
	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	
MOT	46.45	86.48	25.45	21.14
MOW	35.08	63.90	11.67	29.68

* C.V.: Coeficiente de Variación.

La manera de hacer esta determinación de la materia orgánica del suelo consiste en:

- Se pesa una muestra de 6 ó 7 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o en la fracción requerida) y se coloca en crisoles de porcelana.
- Se seca el conjunto (la muestra y el crisol) en horno a 105°C hasta peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), se retira del horno y se deja enfriar en desecador, luego se pesa.
- Se calcina la muestra en una mufla a 650 ó 700°C, durante 3 ó 4 horas.
- Se retira de la mufla el conjunto, se deja enfriar en desecador y se pesa nuevamente.
- Se calcula la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar; esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcínación.
- Se expresa la diferencia de peso en porcentaje, con respecto al peso inicial de la muestra (seca a 105°C) y ese es el porcentaje de materia orgánica que tenía aquella.

3.1.2. Método de Walkley y Black

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Es el método más utilizado en nuestro medio para evaluar la materia orgánica del suelo.

Según Kumada (1987) y el SSL (1995), este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados obtenidos en el laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia orgánica. El SSL (1996) recomienda utilizar un factor de corrección igual a **1.724**, asumiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico.

Motta et al (1990) exponen los procedimientos para llevar a cabo esta determinación como se presentan a continuación:

- Se pesan entre 0.2 y 2 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o al tamaño de la fracción requerida), dependiendo del color del suelo: más oscuro menor cantidad y viceversa.
- Se coloca la muestra en un erlenmeyer de 250 mL y se le adicionan 5 mL de dicromato de potasio 1N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agita y se deja enfriar; hay que tener precaución en este punto pues la reacción que se presenta es violenta.
- Cuando se enfría el conjunto anterior, se diluye con 50 mL de agua destilada y se le agregan 5 mL de ácido fosfórico y 3 gotas de difenilamina o 5 gotas de ortofenantrolina.
- Se prepara un blanco, es decir, una mezcla de todos los reactivos mencionados pero sin suelo.
- Se titulan la mezcla inicial y el blanco con una solución de sulfato ferroso 1N; la titulación está completa cuando se obtiene un color verde.
- Se calcula el contenido de carbono orgánico con la ecuación [16.1].
- Se transforma el contenido de carbono orgánico a contenido de materia orgánica, en porcentaje (%MO), mediante la relación [16.2].

Las ecuaciones a utilizar en esta determinación son:

$$\%C = \frac{V \left(1 - \frac{M}{B}\right) \times 0.003}{Pm} \quad [16.1]$$

donde: %C = Contenido de carbono orgánico en %.

V = Volumen de dicromato de potasio empleado en la muestra y en el blanco (5 mL).

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

Pm = Peso de la muestra.

$$\%MO = \%C \times 1.724 \quad [16.2]$$

El SSL (1995) recomienda que cuando el contenido de carbono orgánico da valores mayores a 8%, no debe ser tenido en cuenta y que, el contenido de materia orgánica del suelo en cuestión debe ser evaluado por el método de calcinación a 400°C.

Con este método, como ya se dijo, puede quedar alguna parte del material orgánico del suelo sin oxidar, sobre todo en sus fracciones más frescas y más gruesas, por lo cual los valores de materia orgánica del suelo pueden quedar subestimados, aunque en una fracción orgánica poco o nada activa en él.

La reacción de oxidación que se produce en esta determinación es violenta y desprende gran cantidad de vapores, razón que obliga a hacerla bajo campana extractora y con la protección adecuada.

3.1.3. Oxidación con peróxido de hidrógeno

Aunque este procedimiento es recomendado para eliminar materia orgánica de muestras de suelos que están siendo sometidos a análisis textural y que presentan dificultades para dispersar debido a que tienen un alto contenido de ella, también es útil si se quiere cuantificar el contenido de materia orgánica en un suelo en que el contenido de ella sea bajo.

Con este método, el procedimiento a seguir es:

- Se toma una muestra de suelo tamizado a 2 mm (o a la fracción de tamaño deseado) y seco al horno.
- Se coloca la muestra en un erlenmeyer y se pesa.
- Se le adicionan porciones de solución de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) al 6% hasta que no haya efervescencia; el proceso puede acelerarse calentando en baño María a 60°C.
- Se seca la muestra en horno nuevamente y se vuelve a pesar cuando se enfríe; la diferencia de peso es el contenido de materia orgánica que tenía la muestra, el cual se expresa en porcentaje con respecto al peso inicial de ella.

En esta determinación debe tenerse mucha precaución al hacer las adiciones del peróxido de hidrógeno ya que la reacción puede ser muy violenta y puede causarle quemaduras al operario, así como pérdida de material de la muestra, invalidándose la determinación.

3.2. FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Como ya se ha dicho, la materia orgánica del suelo es un continuum de materiales que van desde los residuos frescos de animales y vegetales que se adicionan al suelo, hasta una serie de polímeros que no se identifican químicamente en forma exacta.

Cuando se determina el contenido total de materia orgánica del suelo, todo ese continuum es evaluado dentro de un mismo conjunto edáfico, pero puede ser interesante conocer el contenido de los diferentes componentes incluidos en aquel. Para lograr ésto, se debe llevar a cabo un fraccionamiento de la materia orgánica del suelo y hacer los análisis de cuantificación en cada

una de las fracciones separadas, expresando los contenidos como “**porcentaje de C de una determinada fracción, con respecto al contenido de C total del suelo**”.

Los contenidos de carbono en cada fracción que sea separada se determinan por el método de Walkley y Black. En la Figura 16.2 se presentan las fracciones en que más frecuentemente se divide la materia orgánica del suelo para su estudio.

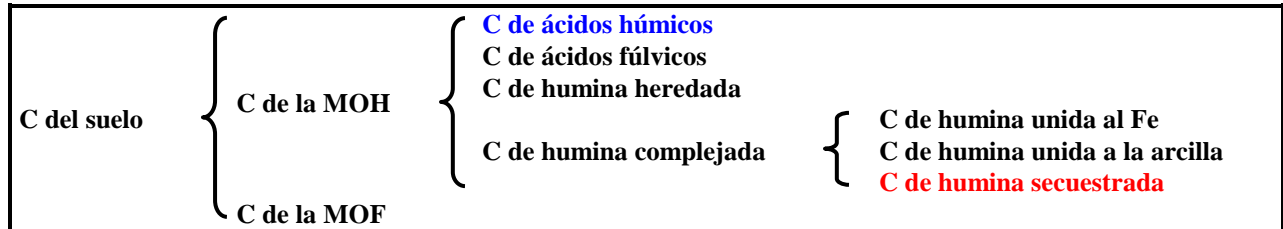


FIGURA 16 2. Fracciones generales de la materia orgánica del suelo, con base en discusiones de Motta et al (1990) y Malagón et al (1995) (MOH: materia orgánica humificada, MOF: materia orgánica fresca).

De acuerdo con Motta et al (1990), un primer fraccionamiento de la materia orgánica del suelo consiste en separar la fracción húmica (MOH = pesada) de la no húmica (MOF = liviana) (ver Capítulo 1, numeral 3.4.1). Esta separación puede hacerse por método **densimétrico** o por método **granulométrico**.

Una vez separadas las fracciones húmica y no húmica, se procede a separar la húmica en sus componentes básicos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Esta separación se hace sometiendo la muestra a una extracción exhaustiva con soluciones alcalinas para extraer los ácidos húmicos y los fúlvicos; el residuo que queda sin solubilizarse en esta extracción compone las huminas.

Sometiendo el extracto alcalino a un proceso de acidificación intensa (con ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH de 2) se separan los ácidos húmicos de los fúlvicos: la fracción que precipita en el medio acidificado corresponde a los ácidos húmicos y la que queda disuelta en él a los ácidos fúlvicos.

La extracción alcalina puede hacerse escalonadamente con diferentes soluciones, incrementando el pH, con lo cual se hace un fraccionamiento del carbono de los ácidos unido a diferentes compuestos en el suelo, formando los complejos órgano-minerales del mismo. Motta et al (1990) recomiendan utilizar la siguiente secuencia:

- Extracción con tetraborato de sodio 0.1 N a pH 9.7: Disuelve las sustancias órgano-minerales móviles; son los complejos que presentan los enlaces más débiles con la materia orgánica.
- Extracción con pirofosfato de sodio 0.1 N a pH entre 9.8 y 10: Disuelve la materia orgánica unida a las arcillas y a los sesquióxidos de Fe y Al, considerados complejos inmóviles.
- Extracción con hidróxido de sodio 0.1 N a pH entre 12 y 13: Disuelve prácticamente todos los complejos órgano-minerales, incluyendo los complejos con los enlaces más fuertes.

Como se aprecia en la Figura 16.2, la humina también se puede dividir en diferentes fracciones. Sometiendo el residuo no soluble en álcali a extracción con ditionito de sodio al 1% se obtiene la humina ligada al Fe. Luego, el residuo que queda se somete a extracción con una mezcla de HCl-HF 1 N para obtener la humina ligada a las arcillas y el residuo que permanece es la humina secuestrada o no extraíble (Motta et al, 1990).

La humina heredada es, según Malagón et al (1995), una humina muy cercana a la materia orgánica fresca, originada directamente a partir de la lignina con incremento de los grupos COOH. Según Motta et al (1990) establece muy pocos complejos órgano-minerales y sus uniones son tan débiles que puede separarse aplicando ultrasonido a la fracción de materia orgánica húmica del suelo. En la Tabla 16.8 se presentan algunos resultados del fraccionamiento de la materia orgánica en el horizonte superficial de un Andisol de la Sabana de Bogotá, obtenidos por Piedrahita (1977) y en la Tabla 16.9 los resultados obtenidos por Piedrahita (1986) en horizontes A y B de Oxisoles de la orinoquia colombiana.

TABLA 16.8. Fracciones orgánicas* separadas en el horizonte superficial de un Andisol de la Sabana de Bogotá (Tomados de Piedrahita, 1977).

C TOTAL (%)	% DE C TOTAL						% DE HUMINA TOTAL	
	MOF	MOH	CT	CP	CH	HT	HFe	HAr
9.93	23.87	76.13	25.57	10.37	11.88	18.12	36.76	8.83

* C: Carbono. MOF: Materia orgánica fresca. MOH: Materia orgánica húmica. CT: Carbono extraído con tetraborato de sodio. CP: Carbono extraído con pirofosfato de sodio. CH: Carbono extraído con hidróxido de sodio. HT: Humina total. HFe: Humina ligada al Fe. HAr: Humina ligada a la arcilla.

TABLA 16.9. Fracciones orgánicas* separadas en varios horizontes de Oxisoles de la orinoquia colombiana (Tomados de Piedrahita, 1986).

SUELO**	HORI- ZONTE	C TOTAL (%)	% DE C TOTAL					
			MOF	MOH	CT	CP	CH	HT
1	Ap	1.15	20.43	79.57	14.78	5.12	5.76	53.91
	Bo	0.30	6.66	93.34	23.77	25.25	8.91	35.41
2	Ap	2.87	33.08	66.92	20.82	6.66	5.75	33.59
	Bo	0.40	3.89	96.11	38.08	10.08	12.69	34.46
3	Ap	0.71	1.76	98.24	18.05	5.74	6.20	64.60
	Bo	0.44	10.56	89.44	22.45	5.18	10.36	53.18

* Los símbolos igual que en la Tabla 16.8.

** 1: Quartzipsammentic Haplustox. 2: Typic Ochraquox. 3: Ultic Haplustox.

Al observar los resultados de las dos tablas anteriores se nota que la cantidad de humina total que se extrae en los Oxisoles es bastante mayor que en los Andisoles, lo que está mostrando el alto grado de humificación que tiene la materia orgánica acumulada en los primeros suelos. Además, la cantidad de carbono extraído con tetracloruro de sodio es más alta que la que se extrae con pirofosfato y con hidróxido, lo que muestra que los complejos orgánicos que se están acumulando en los ácidos húmicos y fúlvicos de los suelos tienen poca estabilidad, ya que presentan uniones débiles entre los compuestos orgánicos y los inorgánicos que los acompañan.

3.3. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN CUALITATIVOS

Para estudiar la composición de la materia orgánica del suelo, los métodos más utilizados son aquellos que establecen:

- La **composición química básica**: contenidos de C, N, H O y S, pH, acidez total, relación C/N, principalmente.
- El **contenido de ácidos** húmicos y fúlvicos y de huminas.
- El **contenido de grupos funcionales**: COOH, OH, C=O, O-CH₃, principalmente.
- Las **propiedades ópticas** de los compuestos orgánicos, tales como la espectroscopía infrarroja, la visible o la ultra-violeta y espectros de resonancia magnética nuclear de ¹³C.

Básicamente, el procedimiento para hacer estas evaluaciones consiste en someter una muestra de suelo a lavado con solventes específicos, dependiendo de la fracción que se quiera estudiar, recoger los extractos, purificarlos, separar sus componentes y hacer las determinaciones mencionadas. Esta parte de la caracterización de la materia orgánica del suelo escapa a los objetivos de este texto, razón por la cual no se amplía más su alcance.

RECORDAR

- La materia orgánica del suelo tiene importantes efectos sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- La materia orgánica es un parámetro muy importante en la clasificación taxonómica de los suelos.
- En la mayoría de los suelos, el contenido de materia orgánica decrece al ir aumentando la profundidad del mismo. Las distorsiones más importantes a este comportamiento las presentan suelos derivados de depósitos sedimentarios, suelos con horizontes A enterrados y suelos con horizontes iluviales de materia orgánica.
- Hay una relación general entre la altitud y el contenido de materia orgánica del suelo: $\text{altitud} > \text{contenido orgánico}$.
- Para fines prácticos, la materia orgánica del suelo se evalúa de manera cuantitativa.
- El método más utilizado para evaluar el contenido de materia orgánica del suelo es el Walkley y Black.

BIBLIOGRAFÍA

- BURBANO, H. 1989. El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos. Universidad de Nariño. Pasto. 447 p.
- CABRERA, L. T. A. 2000. Aporte al conocimiento de la microbiota fúngica del suelo de la amazonia colombiana, con énfasis en tres grupos funcionales. Tesis (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 353 p.
- ESWARAN, H.; E. VAN DER BERG and P. REICH. 1993. Organic carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 192-194.

- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos: Quinta aproximación. ICA. Tibaitatá. 64 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 1988. Suelos del departamento de Caldas. IGAC. Bogotá. 2º Tomo. 164 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 1978. Estudio general de suelos Alta y Media Guajira. IGAC. Bogotá. 577 p.
- JARAMILLO, D. F. 1999. Caracterización química de Andisoles repelentes al agua del oriente antioqueño. Rev. Fac. Nal. Agr. Med. 52 (2): 657-673.
- JARAMILLO, D. F. 1995. Andisoles del Oriente Antioqueño: Caracterización química y fertilidad. Ecográficas Ltda. Medellín. 35 p.
- JARAMILLO, D. F.; L. N. PARRA y L. H. GONZALEZ. 1994. El recurso suelo en Colombia: Distribución y Evaluación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.
- KUMADA, K. 1987. Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press. Elsevier. Tokyo. 241 p.
- MALAGÓN, D.; C. PULIDO; R. LLINÁS y C. CHAMORRO. 1995. Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC. Bogotá. 632 p.
- MOTTA, B. et al. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5ª. Ed. IGAC. Bogotá. 502 p.
- MUNEVAR, F. 1991. Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo, relacionados con la interpretación de análisis químicos. **En:** Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Bogotá. pp. 227-244.
- MUÑOZ, R. 1995. Fertilización del tomate (*Lycopersicon sculentum*) en Colombia. **En:** Memorias Seminario Fertilización de cultivos. Editores G. Vallejo y W. Osorio. SCCS. Medellín. pp 56-80.
- MUÑOZ, R. 1994. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. **En:** Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Editor F. Silva. SCCS. Santafé de Bogotá. pp 293-304.
- OROZCO, F. H. 1999. Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 231 p.
- OROZCO, H. 1984. La materia orgánica de los suelos y su relación con los abonos orgánicos. **En:** Curso Fertilización Racional del Suelo. SCCS. Medellín. pp. 339-367.
- PIEDRAHITA, S. de B. 1986. Comportamiento de la materia orgánica en suelos de la orinoquia. **En:** Diagnóstico geográfico nororiente del Vichada. Vol. 5.2: Suelos. IGAC. Bogotá. pp: 1-59.
- PIEDRAHITA, S. de B. 1977. Fraccionamiento y caracterización del material húmico en dos Andosoles de la Sabana de Bogotá. IGAC. Bogotá. 37 p.
- PRORADAM. 1979. La Amazonia colombiana y sus recursos. Proyecto Radargramétrico del Amazonas. Bogotá. 590 p.
- SOIL SURVEY LABORATORY. 1996. Methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. Version 3.0. USDA. Lincoln. 693 p.

SOIL SURVEY LABORATORY. 1995. Information manual. Soil Survey Investigations Report N° 45. Version 1.0. USDA. Lincoln. 305 p.

SOIL SURVEY STAFF. (SSS) 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2ª. Ed. Agriculture Handbook N° 436. Soil Survey Staff. Washington D. C. 869 p.

SOIL SURVEY STAFF. 1998. Keys to Soil Taxonomy. 8ª. Ed. Soil Survey Staff. Washington. 326 p.

AUTOEVALUACIÓN

1. Describa el efecto que tiene la materia orgánica en 10 propiedades del suelo.
2. Enumere 6 horizontes diagnósticos que se definan con base en el contenido de materia orgánica en la taxonomía de suelos del USDA.
3. ¿De cuáles factores depende la velocidad de descomposición de la materia orgánica?
4. En un suelo de clima cálido seco, ¿cómo es la tasa de descomposición de la materia orgánica?
5. ¿Cómo es el patrón normal de distribución de la materia orgánica en el suelo?
6. Diga dos situaciones en las que se distorsiona la distribución normal de la materia orgánica en el suelo.
7. Hay alguna relación entre el contenido de materia orgánica del suelo con el clima?. Explique.
8. ¿En cuál región de Colombia se presentan los suelos con los menores contenidos de materia orgánica?
9. ¿Qué valor de contenido de materia orgánica se considera alto en clima frío?
10. ¿Cuál es el método estándar para evaluar el contenido de materia orgánica en el suelo?. ¿Qué estima realmente?
11. ¿Qué es fraccionar la materia orgánica del suelo?
12. ¿Cuáles son las fracciones en que se divide generalmente la materia orgánica humificada del suelo?
13. Esboce el procedimiento que se utiliza para fraccionar la MOH del suelo.
14. Enumere 3 grupos de análisis que pueden hacerse para evaluar cualitativamente la materia orgánica del suelo.

EVALUACIÓN

1. Un epipedón melánico debe tener, entre otras cosas, un contenido de carbono orgánico igual o mayor a 4%. ¿Cuál es el valor mínimo en el contenido de materia orgánica que debe tener el epipedón para que sea melánico?. (R: 6.896%).