

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Programa de Recursos Naturales Renovables

// Curso de Suelos Forestales (SP-6316 )

Setiembre-Diciembre 1979 //

Gonzalo De Las Salas  
Profesor

LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

FORMACION Y FUNCION DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La materia orgánica es producida en gran parte por las plantas a través de la fotosíntesis y se compone en gran medida de muchos compuestos de carbono. Los componentes más comunes son polisacáridos, incluyendo celulosa, hemi-celulosa, ligninas, sustancias pépticas y otros. Las ligninas son relativamente resistentes al ataque bacteriano y por consiguiente tienden a acumularse en los procesos de descomposición. Sin embargo, tampoco permanecen totalmente inalteradas. Los cambios que tienen lugar en el proceso de descomposición de la materia orgánica tienen como resultado habilitarla para retener cationes, los cuales forman el mayor grupo de nutrimentos de la planta (15).

La materia orgánica del suelo y de la planta contiene también proteínas y otros componentes nitrogenados. El nitrógeno se acumula en la materia orgánica del suelo debido a que es un componente importante en las células microbianas y es un elemento que se recicla muchas veces con el rejuvenecimiento de las células. Además, las partículas de arcilla ejercen una acción protectora sobre las

proteína y otras moléculas atrapándolas dentro de sus micelas. Las sustancias orgánicas también resultan a partir de reacciones entre las proteínas y otros constituyentes de la materia orgánica del suelo, tales como lignina; estos complejos son igualmente resistentes a la acción microbiana.

La materia orgánica no es la misma en todos los suelos. El tipo de vegetación, la naturaleza de la población microbiológica del suelo, el tipo de drenaje, la lluvia, la temperatura, y el manejo del suelo desde el punto de vista agrícola, afectan el tipo y la cantidad de materia orgánica que se encuentre. La materia orgánica en resumen, es el producto de su ambiente (10,15).

#### PRINCIPALES TIPOS DE HUMUS DEL SUELO

Las principales formas de humus según Müller son las siguientes: moder, mull y humus bruto. El humus que más se encuentra en los bosques tropicales de América es el humus bruto y el moder. Un estado avanzado de materia orgánica como la describe Müller, casi no se encuentra en los bosques del trópico. Literatura relevante sobre este tema se puede encontrar en el libro de Lutz y Chandler denominado "suelos forestales" (en inglés). Al final de este capítulo se reseñarán algunos artículos y tratados que hablan específicamente sobre materia orgánica, su clasificación y su descomposición. En la presente nota me referiré solamente a los tres componentes principales del humus que intervienen en la dinámica biológica del suelo. Estos componentes son el horizonte L (Litter). Esta capa consiste de restos inalterados que permanecen como consecuencia de la descomposición parcial de animales y plantas. Algunos autores lo han descrito como el horizonte Aoo. El horizonte F (la F de fermentación) que consiste fundamentalmente de restos más al-

terados de el horizonte L descrito anteriormente. La estructura de los restos vegetales todavía está bien diferenciada y permite su identificación. El horizonte H es un horizonte orgánico íntimamente ligado al horizonte mineral propiamente dicho. Aquí ya los restos orgánicos no pueden diferenciarse.

La composición del humus del suelo forestal es muy compleja y solamente enumeraré algunos componentes. Estos componentes son los siguientes: 1) un número variable de constituyentes residuales como celulosas, hemicelulosas, grasas, etc., derivados de los materiales descompuestos de plantas y animales; 2) restos de ligninas, cutinas, taninos y resinas; 3) células microscópicas sintetizadas en el proceso de descomposición de la materia orgánica que llega al suelo; 4) productos que alcanzan la descomposición y son sintetizados, por ejemplo, ácidos orgánicos e inorgánicos, amonio, nitratos y sales minerales.

Una descripción más detallada de los tipos de humus se encuentra en el anexo.

#### Los materiales no humínicos y las huminas

Al grupo de los materiales no humínicos pertenecen los productos microbiales tales como los ácidos orgánicos. En el suelo los polisacáridos participan entre 5 y 30% de la materia orgánica, y los poliurónidos entre un 2 y un 5% de la misma. Del nitrógeno orgánico total, un 5 a 10% se encuentra en forma de azúcares aminados. El significado de los materiales no humínicos del suelo, los cuales son más fácil - mente descomponibles que otros, radica en el hecho de que sirven de fuente de alimento natural a los organismos heterótrofos del suelo e influyen decisivamente en la actividad biológica del suelo. La velocidad de descomposición de la materia orgánica

está influida por algunos factores principalmente la actividad microbiológica, la cual está sujeta también a la temperatura, humedad, aireación y pH del suelo. Los productos de transformación de las sustancias no humínicas son: a) huminas; b) ácidos orgánicos de bajo peso molecular tales como productos transformables de los microorganismos (ácidos amínicos, ácido sulfúrico, ácido oxálico, etc); c) uniones inorgánicas como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , nitratos y fosfatos, los cuales tienen un significado como nutrimentos en las plantas. A través de la descomposición bajo condiciones anaeróbicas aparecen también metano, ácido sulfídrico y otros productos. Además, se libera energía, la cual alcanza aproximadamente de 4 a 5 calorías de sustancia seca. El otro gran grupo son las huminas constituidas a partir de polímeros de alto peso molecular y uniones orgánicas de color oscuro. Su alta resistencia microbiana conduce a un enriquecimiento de estas sustancias en el suelo. Su color es responsable de la coloración oscura característica de los horizontes A del suelo (horizontes orgánico-minerales).

La formación de huminas está sujeta a varios procesos complicados y hasta la fecha no completamente aclarados. Uno de tales procesos es la síntesis, el cual no será tratado en estas notas. Veremos someramente los procesos denominados humificación biológica y abiológica.

#### Humificación biológica.

En la naturaleza tiene lugar la formación de huminas, es decir la humificación, casi siempre bajo el influjo del edafón. El edafón transforma, con ayuda de sus enzimas, los polímeros de alto peso molecular que son materias de partida (celulosa), en uniones más simples a partir de las cuales se forman las huminas.

La humificación biológica tiene lugar en condiciones muy favorables cuando se tiene un medio débilmente alcalino hasta débilmente ácido y bajo la presencia de altas cantidades de albúmina, frente a uniones solubles fenólicas, ya que sólo bajo estas condiciones se puede garantizar un desarrollo óptimo del edafón en el suelo. En este sentido no solamente los microorganismos juegan un papel, sino también los pequeños animales del suelo, como por ejemplo los gusanos, los enchitraedros y otros (15).

#### Humificación abiológica

La humificación abiológica tiene lugar sin la participación del edafón y es mucho más lenta que la humificación biológica. Esta, está unida a un pH bajo y a un contenido de nitrógeno escaso en la materia orgánica. Un ejemplo típico de esta humificación abiológica es la formación de un tipo de suelo orgánico denominado Hochmoore, en el cual la actividad biológica, por razón de las condiciones fuertemente anaeróbicas, un pH muy bajo y probablemente también a través de la presencia de cuerpos orgánicos limitativos, está sujeta a tales condiciones. La humificación abiológica juega también un papel importante en los suelos denominados podzoles. Esta humificación conduce principalmente a la formación de uniones de bajo peso molecular como por ejemplo los ácidos fúlvicos. En otros suelos, la humificación tanto biológica como abiológica influye en su metabolismo orgánico (15).

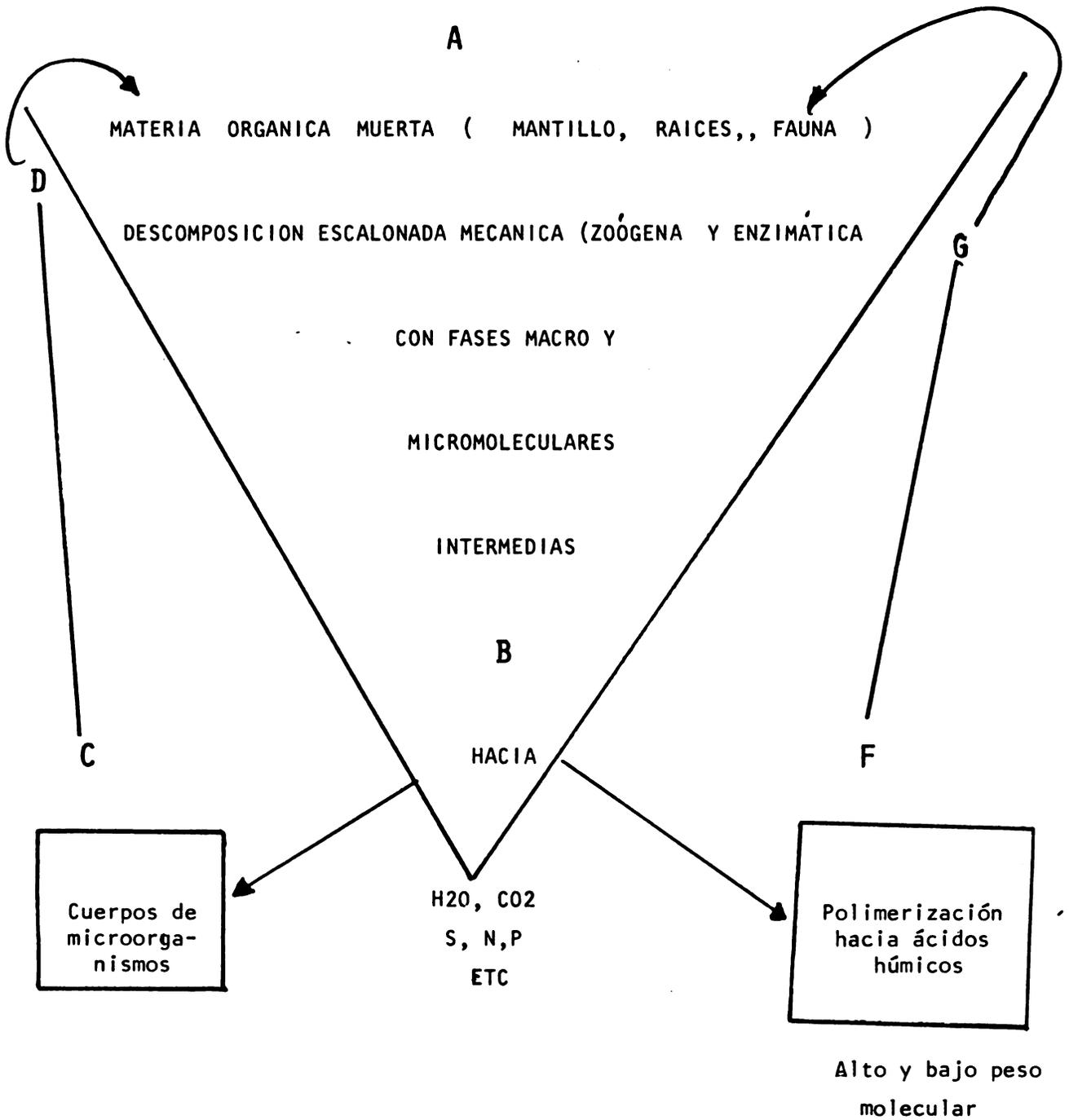
## DINAMICA DEL HUMUS

La figura 1 representa la transformación total de la materia orgánica en el suelo, incluyendo la descomposición mecánica (A y enzimática (B)) de la materia orgánica muerta hacia  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (así como productos de la mineralización intermedia), reabsorción de materias de bajo peso molecular, las cuales representan estadios intermedios de la descomposición a través de microorganismos y fauna del suelo, susiguiente formación de sustancia (C) y su correspondiente flujo hacia la cadena de descomposición (D); la figura también representa la polimerización de compuestos de bajo peso molecular hacia ácidos humínicos de alto peso molecular (F), los cuales es tán sometidos a una posterior descomposición (G) (7).

### Regulación del proceso

1. A y B representan una función de la caída total de hojarasca (sustancia orgánica muerta). Bajo condiciones de equilibrio, la caída de hojarasca corresponde (incluyendo árboles muertos) a la producción total de sustancia orgánica en el sitio. Esta producción aumenta desde las zonas áridas hacia el bosque pluvial (valores entre 7 y 12 toneladas por hectárea de biomasa aérea y 5 toneladas por hectárea de biomasa radicular).
2. Los cambios a través de las diferentes actividades biológicas en el sitio (A,B), tienen como consecuencia:

FIGURA 1: CIRCULACION DE LA MATERIA ORGANICA EN EL SUELO (SEGUN 7)



- a) descenso de la actividad biológica por razón de la acidificación, desaturación y escasez de N, P, S, etc;
  - b) Escasez en el sitio de N (C/N) y P (C/P); estos procesos tienen como consecuencia el retraso de la descomposición y la acumulación de humus bruto y movilización de los ácidos húmicos.
  - c) Aumento de la actividad a través de la fertilización y enclavamiento.
3. El proceso continúa con la disminución de la oferta en sustancia orgánica (intervención humana)
  4. El proceso presenta cambios posteriores en la fase F a través de: polimerización inducida (dentro del medio iónico rico en calcio y silicio); aumento de la estabilidad de los ácidos húmicos a través de grados altos de polimerización o complejos húmicos arcillosos (especialmente montmorilonita). Un ejemplo se tiene en la ceniza volcánica de suelos calcimórficos (tierras negras, vertisoles, andosoles).
  5. Con aumento de la altura sobre el nivel del mar y correspondiente disminución de la temperatura, se retrasa el proceso de descomposición de la materia orgánica (fases A y B de la figura 1); esta disminución de la descomposición es más fuerte que la producción de la misma. Este fenómeno puede observarse en la figura 2. La consecuencia es un aumento en el equilibrio del contenido de humus del suelo, acompañado de una fuerte tendencia a la formación de capas de humus.
  6. El proceso de formación de humus está influenciado también por la vegetación. Los pastos tienen por ejemplo una alta descomposición de sus raíces y consiguientemente una formación de huminas en el suelo: horizontes Ah, los cuales son relativamente gruesos y ricos en polímeros de alto peso molecular. En los bosques

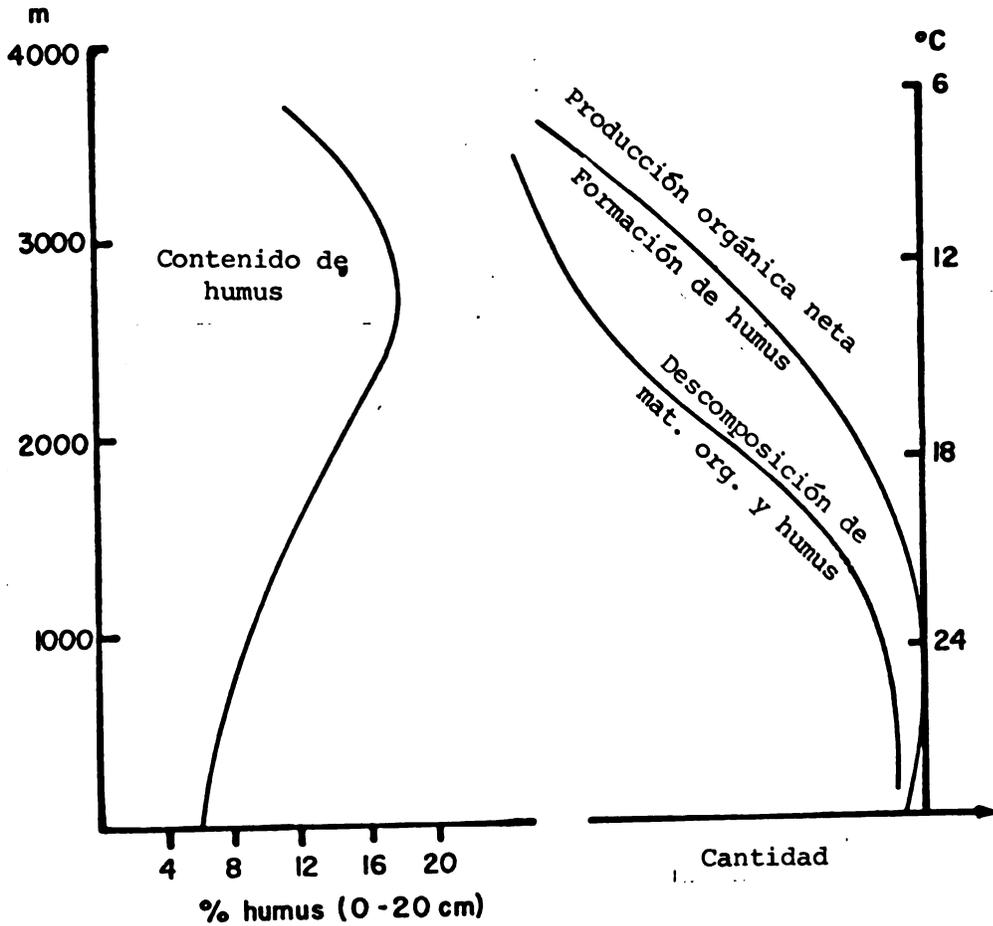


FIGURA 2: Contenido de humus y tasas relativas de producción-descomposición de materia orgánica como función de la altitud s.n.m. (según Folster y Fassbender (7) ).

se sucede la descomposición en gran medida en el sistema intensivo radicular del suelo.

Una relación importante en la dinámica del humus es la proporción Carbono/Nitrógeno. Con la altitud el nitrógeno total se aumenta. Este fenómeno ha sido observado en la zona andina (1). La fuerte acidificación del suelo superior (pH alrededor de 4) puede pronunciarse desventajosamente también sobre la forma del humus. Relaciones C/N por encima de 12 deben mostrar ya en la tierra baja tropical condiciones desfavorables. Tales relaciones se obtuvieron a menudo en la región del Carare-Opón, Colombia y también son conocidas en otras regiones (2, 4, 12). Sobre la disponibilidad del nitrógeno en tales sitios son muy escasas las investigaciones.

#### LOS ACIDOS HUMICOS DEL PERFIL ORGANICO DEL SUELO

El término ácido húmico describe un grupo de sustancias que pueden ser extraídas del suelo por soluciones de hidróxido sódico, fluoruro sódico, oxalato sódico, úrea y otros. En el proceso se forman precipitados amorfos con los ácidos. Se ha establecido, como se mencionó, que los ácidos húmicos tienen una estructura compleja. En su molécula ocurren compuestos de naturaleza fenólica o quinoidea y compuestos nitrogenados (como ácidos amínicos y péptidos). Durante la hidrólisis de los ácidos amínicos por intermedio de HCl, una gran parte del nitrógeno pasa a estado soluble (9, 10, 15).

Las principales fuentes de las sustancias húmicas en el suelo son residuos orgánicos de plantas y animales. A pesar de que todas las plantas contienen los mismos grupos de sustancias (grasas, resinas, proteínas, complejos carbohidrata-

dos simples y compuestos, ligninas y otros componentes), las proporciones de estas sustancias en las diferentes plantas varía extremadamente. Además de grupos carboxílicos los ácidos húmicos contienen sustancias alcalinas y fenólicas, grupos alcohólicos y grupos metoxilo.

Es importante anotar aquí que la capacidad tampón del suelo está en gran medida asociada con el hecho de que los ácidos húmicos son compuestos débilmente disociados.

#### RELACIONES ECOLOGICAS DEL HUMUS DEL SUELO FORESTAL

##### El humus y el manejo del bosque

La silvicultura se encuentra hoy en un punto crítico de desarrollo. Las investigaciones de los últimos 100 años han demostrado que, una planeación forestal como se encuentra hasta ahora, basada en los tratamientos silviculturales, necesitaba conocer también los efectos del suelo sobre el rendimiento de las plantaciones o sobre la fisonomía del bosque natural. No se ha observado ningún ascenso significativo en la producción no obstante haber mejorado el incremento de los rodales y la calidad de la madera. La edafología forestal entretanto, ha traído consigo una copiosa serie de conocimientos y con ellos, la clarificación de muchos fenómenos en el bosque, Aún permanecen desconocidas algunas relaciones suelo-planta. A través de los nuevos conocimientos, se han abierto dos nuevos caminos para la intensificación de la ciencia forestal, los cuales ofrecen grandes aumentos en los rendimientos que anteriormente apenas fueron viables. El primer camino intenta aclarar, en el sentido de las leyes del sitio, las propiedades particulares de cada lugar y su relación con su explotación-dirigida, para seleccionar adecuadamente las especies y ejecutar las medidas más apropiadas de producción, y con ello, lo -

grar un mejor éxito en la economía forestal considerando muchas variables. El segundo camino pretende aumentar de inmediato la productividad del suelo forestal interviniendo en su regulación, sobre la base de su naturaleza y deficiencias. La mayoría de éstos suelos no ha sido todavía intervenida por el hombre, pero lo será en un futuro cercano. En el pasado, la intervención humana se limitó a la utilización de la hojarasca y el cultivo de bosque puro de coníferas (en la zona templada), en cierto sentido desfavorable para el suelo. La naturaleza ha acumulado capas en grandes superficies, cuyas condiciones para el desarrollo de un suelo productivo faltan de antemano. Puede tratarse en general de deficiencias nutricionales ocasionadas por relaciones inarmónicas entre los iones, o de calidades desfavorables heredadas del material parental. En los trópicos las formas desfavorables de humus en el suelo han tratado de corregirse a través del manejo del suelo (abonadura verde, encalado, incorporación de leguminosas, quema controlada, etc.).

#### Materia orgánica y nutrimentos:

Las partículas coloidales de materia orgánica están cargadas negativamente y atraen iones cargados positivamente hacia su superficie. La capacidad de retención de la materia orgánica es mayor que la de las arcillas (aproximadamente cuatro veces). La materia orgánica también aumenta la capacidad tampón de los suelos. Los elementos nutricionales como hierro, cobre y cinc, puede formar complejos orgánicos por la formación de anillos moleculares en sus estructuras, en las cuales los nutrientes forman parte de este anillo en complejos metal orgánicos. Estas sustancias son a veces inmovilizadas y no son asimilables por las plantas. Por otra parte, adecuadas cantidades de boro están usualmente presentes en los suelos

cuando éstos contienen grandes cantidades de materia orgánica; ésta es una ind  
cación de que la materia orgánica puede proteger al Boro contra un excesivo la-  
vado a través de formas no asimilables (2, 15).

Debido a la gran capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica,  
ésta es importante como un centro de almacenamiento de nutrimentos. La mate-  
ria orgánica juega también un papel directo en la fertilidad del suelo como fuen  
te de nutrimentos que son liberados durante la mineralización. La mineraliza-  
ción es una parte fundamental de los llamados ciclos del nitrógeno y del carbono,  
pero es imposible separar estos ciclos en la naturaleza debido a que están íntima  
mente asociados. Las transformaciones de nitrógeno que ocurren dependen en su mayo-  
ría de la energía derivada del ciclo del carbono. Si ocurre una inmovilización  
más rápida que la mineralización en el suelo, entonces <sup>ocasiona</sup> ~~se libera~~ nitrógeno disponi-  
ble y el crecimiento biológico será menor. Si ocurre lo contrario, el nitrógeno  
aumentará y los períodos de crecimiento serán más rápidos. Por eso la mineraliza-  
ción de nitrógeno es muy importante en la agricultura. A menudo, la materia orgá-  
nica del suelo contiene mucho menos fósforo que nitrógeno, pero suficiente en muchos  
suelos. Dentro de los compuestos fosfóricos en la materia orgánica, se encuentran  
los fosfatos de inositol, los ácidos nucleicos y sus derivados y los fosfolípidos.  
El ciclo del fósforo es similar en algunas partes al ciclo del nitrógeno. Cuando  
la proporción Carbono-Fósforo es grande, pueden ocurrir grandes inmovilizaciones  
de fósforo asimilable. Cuando tal proporción es pequeña, pueden ocurrir pequeños  
aumentos en el fósforo inorgánico.

### Materia orgánica y estructura del suelo

Las funciones más conocidas de la materia orgánica son aquellas relacionadas con las propiedades físicas del suelo. Un adecuado nivel de materia orgánica mejora aquellos suelos de textura muy pesada o también aquellos de textura muy gruesa. Ha sido reconocido por largo tiempo el hecho de que la materia orgánica sirve como un granulante en los suelos. Existe una alta correlación entre la materia orgánica y la agregación en suelos que contienen menos de un 25% de arcilla. La capacidad de infiltración del suelo puede mejorarse con la incorporación de materia orgánica; éste efecto benéfico es causado por una mejor estructuración (estructura de agregados) y por la estabilización de dichos agregados en el suelo. Como resultado de la agregación de los suelos pesados debido a una mejor estructura, la cual es causada por la materia orgánica, la distribución del tamaño de los poros sería deseable para el balance entre los poros capilares y los no capilares. En los suelos arenosos, la aireación es buena pero la capacidad de retención es baja. Aquí, la materia orgánica le confiere al suelo una capacidad de retención de agua mayor al incrementar su espacio poroso capilar.

El mejoramiento temporal del suelo debido a la materia orgánica, puede explicarse por la acción de células microbianas pero una estructura más permanente está caracterizada en aquellos suelos posiblemente debido a otras causas. Los suelos de praderas, por ejemplo, tienen una mejor estructura de agregados que los suelos arables debido a las grandes cantidades de raíces de pasto. Estas raíces proveen además una fuente continua de alimento para microorganismos y gusanos y otros organismos y sus productos producen agregados mucho más estables en los suelos de pastos. Es necesario tener en cuenta que el nivel de la materia orgánica en el suelo

está en equilibrio, el cual estará determinado por el clima prevaleciente, la vegetación y el sistema de manejo del suelo. En los trópicos, las técnicas de manejo de ganado y de agricultura, tienen que tomar en cuenta estos principios.

### Materia orgánica y vegetación natural en los trópicos húmedos.

Es bien sabido que en los trópicos húmedos, sobretodo en la vegetación boscosa, se sucede un ciclo cerrado de nutrimentos, el cual es responsable de la exuberancia de las pluviselvas tropicales. De los nutrimentos, el potasio es el que se lava desde las hojas con mayor facilidad y se recicla con mayor rapidez. La descomposición de la hojarasca en ambientes tropicales se sucede rápidamente debido a las condiciones propicias del clima (temperatura), para los organismos descomponedores. La hojarasca forma un colchón sobre la superficie del suelo, el cual reduce la erosión y la escorrentía superficial. La acción del bosque puede ser considerada como una bomba gigantesca, en la cual se sucede el ciclo continuo de nutrimentos a partir del <sup>suelo y del</sup> subsuelo y su almacenamiento en los diferentes estratos de la vegetación y parcialmente en el sistema radicular intensivo del suelo. El suelo se mantiene en un estado en el cual el agua de infiltración y el aire se incrementa a la vez que se disminuye la erosión y la lixiviación. Cuando se remueve y quema el bosque, todos los elementos nutritivos exceptuando nitrógeno y azufre se depositan en la superficie como ceniza; el nitrógeno el azufre y el carbón se pierden <sup>parcialmente</sup> como gases. Esto trae como consecuencia cambios fundamentales en el sistema. Estos cambios han sido reportados en numerosas investigaciones y por lo tanto no son objeto de especial análisis en estas notas.

La existencia de un ciclo casi cerrado de nutrimentos entre el bosque tropical maduro y el suelo fue reconocida inicialmente por Hardy (1936) en Trinidad.

#### Almacenamiento de nutrientes en la vegetación del bosque húmedo siempre verde

Los datos sobre biomasa total en el bosque maduro tropical siempre verde oscilan entre 200 y casi mil toneladas por hectárea de materia seca (2, 6, 7, 10, 11, 15). Según estudios realizados en los trópicos americanos por diferentes investigadores, el 75% de la biomasa consiste de ramas y troncos, un 15 a 20% de raíces, 4 a 6% de hojas entre 1 y 2% de hojarasca (7, 15). Estudios realizados en sucesiones forestales secundarias en el área centro y suramericana demuestran que la tasa de acumulación de materia seca durante el rebrote forestal después de talar y quemar el bosque, es de alrededor de 10 toneladas por hectárea y por año durante los primeros 9 años. Los estudios de Bartholomew <sup>Mayer & Landwehr</sup> (2) en el Congo, indican que un 90% de la biomasa máxima se logra durante los primeros 8 años de rebrote forestal. Aún cuando en estas notas no se trata en detalle el aspecto del almacenamiento y reciclaje de nutrimentos en los ecosistemas forestales, es necesario mencionar la importancia relativa del suelo y la vegetación como almacenadores de nutrimentos. En el libro clásico de Greenland y Nye (10), se mencionan numerosos datos analizados a la luz de experimentos conducidos por muchos años en Africa Tropical. Medidas directas de nutrimentos en todos los componentes forestales de un bosque secundario de 40 años en Ghana arrojaron los siguientes datos: de 60 toneladas/hectárea de materia seca, se acumularon las siguientes cantidades de bioelementos: N:1830 kilogramos/hectárea; K:819 kilogramos/hectárea; Mg:346 kilogramos/hectárea; P:125 kilogramos/hectárea; Ca:2524 kilogramos/hectárea.

Otras cifras referidas a América Tropical comparadas con Australia y Africa se dan en el cuadro 1. De este cuadro se deduce la gran variabilidad del contenido de nutrimentos y de la biomasa de los diferentes bosques tropicales del mundo. La transferencia de la biomasa de la vegetación al suelo, varía de 5,8 a 15,3 toneladas/hectárea/año y con ella se transfieren los siguientes contenidos de nutrimentos (kilogramos/hectárea/año): N 57a a 225; P 2 a 13; K 13 a 129; Ca 18 a 240 y Mg 12 a 53. Para evaluar completamente la economía de los nutrimentos en el bosque, es importante conocer el inventario de los elementos nutritivos también en la capa del humus y en el suelo mineral. El cuadro 2 representa la participación en la reserva de nutrimentos, de la vegetación, del litter y del suelo mineral en varios ecosistemas tropicales (Africa, Brasil, Panamá, Colombia, Nueva Guinea) y un ecosistema montano (Venezuela). Estos valores indican la gran variabilidad de la distribución del capital nutritivo entre los tres componentes de estos ecosistemas.

### Ciclo de nutrimentos

Para estudiar los ciclos de los elementos nutritivos en los ecosistemas, se analizan los procesos de transferencia de los compartimentos que conforman dichos ecosistemas. Interesan por lo tanto como medios de transporte, el agua (lluvia, lavado foliar, escurrimiento por el tronco, escorrentía superficial, drenaje e infiltración) y la hojarasca (producción de restos vegetales, descomposición y liberación de elementos nutritivos). Hay muchos trabajos escritos sobre éste tópico y se aconseja al estudiante consultarlos para mayor detalle. Es importante anotar solamente que la acumulación de nutrimentos en el bosque tiene lugar rápidamente durante los primeros 5 años de crecimiento y después desciende en las sucesiones posteriores. Este modelo parece constante en los

Cuadro 1: Producción anual de hojarasca y aporte de nutrimentos por la plantación al suelo en bosques húmedos tropicales (Kg/ha) (Según FASSBENDER, ( 6 ).

Region	t/ha Materia seca	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	Mg
Congo	12,4	224	7	48	105	53
Congo	12,3	223	9	62	91	44
Congo	15,3	154	9	87	84	49
Congo	14,9	140	4	104	124	43
Costa de Oro	8,0	109	4	31	104	22
Costa de Oro	11,0	164	11	54	73	43
Kade, Ghana	12,5	199	7	68	206	45
Queensland	6,7	108	6	37	75	-
Colombia	12,0	141	4	17	90	21
Colombia	8,7	103	3	29	124	12
Colombia	9,5	109	2	19	53	18
Brasil	7,3	106	2	13	18	13
China	5,8	170	10	25	110	50
Panamá	11,3	-	9	129	240	22
Panamá	10,4	-	3	91	98	33
Panamá	11,6	-	13	110	165	29
Venezuela	-	57	3	28	31	12

Quadro 2: Distribución porcentual de nutrientes en ecosistemas forestales.  
(Según FASSBENDER, ( 6 ).

Region	Autor	materia orgánica t/ha	N	P	K Kg/ha	Ca	Mg
Kade, Ghana	(Greenland and Kowal.) <sup>1/</sup>	4839	5655	80	1152	4260	610
Suma							
% Vegetation		6	18	86	43	38	38
% Litter		1	1	14	1	1	1
% Soil (25 cm)		93	81	-	56	61	61
Manaos, Brasil	(Klinge) <sup>2/</sup>	514	7538	168	634	718	451
Suma							
% Vegetation		92	40	39	72	70	57
% Litter		1	4	18	12	30	39
% Soil (30 cm)		7	56	42	10	0	4
Sta. Fe, Panamá	(Golley et al) <sup>3/</sup>	394	-	176	3456	26268	2585
Suma							
% Vegetation		96	-	79	89	14	15
% Litter		4	-	8	1	1	1
% Soil (30 cm)		-	-	13	10	85	84
Carare, Colombia	Folster, De Las Salas, Khanna) <sup>4/</sup>	372	6753	299	428	551	204
Suma							
% Vegetation		50	11	9	65	78	65
% Litter		15	10	6	7	17	14
% Soil (50 cm)		35	79	85	28	5	21
Nueva Guinea		2220					
Suma							
% Vegetation		6	7	79	61	33	34
% Litter		1	1	6	1	2	1
% Soil (30 cm)		93	92	15	38	65	65
Mérida, Venezuela	<sup>5/</sup>	601	9074	1040	1771	1597	389
Suma							
% Vegetation		77	12	6	83	56	65
% Litter		7	6	3	3	13	4
% Soil (20 cm)		16	81	91	14	31	31

1/ plant and soil (12) 1960; 2/ Biogeotropical (7) 1976; 3/ Univ. of Georgia Press: 1975;  
4/ Oecologia Plantarum (11), 1976;  
5/ Univ. of Gottingen, W. Germany.

cambios de crecimiento observados en las comunidades vegetales.

La remoción de nutrientes de la vegetación ocurre como caída de hojarasca y lixiviación de las hojas por la lluvia, y a partir del lavado en la zona profunda del suelo. En la mayoría de las zonas tropicales, la producción neta anual es del orden de 6 toneladas de materia seca por hectárea y año y se ha calculado que el ciclo anual de nutrimentos expresado como porcentaje del capital almacenado en la vegetación es del siguiente orden (10): N: 11%; P: 11%; K: 32%; Ca : 12%; Mg: 18%.

#### El humus bajo bosque en relación con el clima, el suelo y las especies

El clima perhúmedo sin períodos secos influye, a pesar de la alta temperatura del aire, la actividad biológica y por consiguiente, la mineralización de la materia orgánica. Como consecuencia se registran en los suelos mejor aireados, valores de humus relativamente altos en el suelo superior. En 20 perfiles investigados se encontró un contenido de Carbono de 5 a 8% (0-10 cm), en la capa inferior (10 a 20 centímetros) aproximadamente 2% y en el suelo inferior (20-50 cm, 1%. (8) ). Los suelos compactos muestran por el contrario los mismos bajos valores que en pocas regiones húmedas (1 a 3%). Humus bruto se observó varias veces también en estas regiones húmedas. Sin embargo, la formación de capas gruesas se presenta únicamente en las montañas a partir de 500 metros sobre el nivel del mar. Solo allí también es más frecuente el horizonte F seguido de un horizonte húmico blanqueado y de una delgada banda de hierro (5).

Como la mineralización de la materia orgánica disminuye y la humificación aumenta con el descenso de la temperatura, se observa un incremento del contenido del humus en el suelo con el aumento en altura en las montañas. Debido a las fluctuaciones insignificantes de la temperatura en el curso del año, se puede considerar como medida, la temperatura promedio anual para la intensidad de la descomposición de la materia orgánica en los trópicos. En alturas elevadas, digamos 2.500 m.s.n.m., la temperatura (14°C) está lejos del óptimo para la actividad biológica en el suelo y es similar a la temperatura de Europa Central durante el período de crecimiento.

La cantidad y distribución de la lluvia puede modificar fuertemente los procesos biológicos en el suelo. Un clima permanentemente húmedo <sup>que puede reducir</sup> ~~impide~~ la descomposición de la materia orgánica, mientras un clima estacional estimula la mineralización. En las grandes alturas con temperaturas bajas y permanente humedad, se encuentran condiciones muy desfavorables para la descomposición, y por lo tanto, se presentan las mayores acumulaciones de humus bruto.

Las características químicas del suelo también influyen en los procesos biológicos a través del contenido de nutrientes en los minerales, y en las hojas. Un suelo relativamente fértil, bajo bosque natural, está cubierto por una capa de "mull" (Humus más valioso), mientras que un suelo muy ácido lo está por "moder". En Nueva Zelandia se utiliza el tipo de humus mull y moder, como uno de los criterios para la clasificación de los suelos de ladera.

En Colombia se puede estudiar el humus bajo condiciones originales en pocos sitios a consecuencia de la destrucción de los bosques. En general, predomina un tipo de humus desfavorable (moder).

La descomposición de la hojarasca no está influida sólo por el clima y el suelo, sino también, por la especie del árbol de que proviene. Hojas anchas mineralizan más rápido que las agujas de las coníferas, en gran parte, debido a su mayor contenido de nitrógeno y bases. Sin embargo, la diferencia es menos notable en los suelos pobres.

Entre las mismas especies latifoliadas hay también diferencias importantes en la descomposición de las hojas según su composición química y su estructura. Especies como *Alnus* o las leguminosas forman una hojarasca biológicamente muy valiosa, mientras las hojas coriáceas del bosque natural de las zonas altas no lo son, por descomponerse lentamente. Entre las coníferas se conoce una diferencia muy marcada en la descomposición de las agujas de ciprés y pino pátula.

Bajo los bosques de las montañas tropicales húmedas la acumulación superficial de materia orgánica alcanza varios cientos de toneladas por hectárea, si se trata de moder y considerablemente menor si es de mull. Bajo coníferas en Alemania el humus bruto de *Picea*, pesa cerca de 100 toneladas, pero, en casos excepcionales, puede llegar hasta 170 toneladas. En las montañas sub-tropicales de Sudáfrica el pino forma un humus bruto pero en menores cantidades. En general, oscila entre 20 y 30 toneladas, aunque fueron observadas hasta cantidades de 100 toneladas (3).

La diferencia química entre mull y moder se manifiesta en general por la mayor acidez, mayor relación C/N, menor capacidad de intercambio catiónico y menor saturación de bases que el moder (Cuadro 3).

El humus bruto del pino se distingue del moder por <sup>se</sup> mayor su relación C/N y menor su CIC, ambas son indicadoras de una descomposición muy incompleta.

En la cordillera el moder del bosque natural libera una cantidad mayor de ácidos orgánicos no saturados que el humus bruto del pino en el Sur de Africa; por lo tanto, es capaz de promover procesos de podsolización más fácilmente.

#### Formas de uso del suelo y su influencia sobre la materia orgánica

##### La descomposición del humus, la transformación de los nutrimentos y pérdidas en la fase de cultivo.

Después de talar y quemar el bosque se sucede un descenso en la productividad del suelo. La velocidad de tal descenso depende de las propiedades del suelo (humus, nivel de nutrimentos, arcilla, pH, estabilidad de agregados y microorganismos); depende también del cultivo que se siembra inmediatamente después de la quema, de la intensidad del uso del suelo y de las medidas de conservación del mismo. Un caso extremo de pérdida de la productividad del suelo se menciona para el Congo con cultivos de ~~maíz~~ <sup>maní</sup> en la segunda cosecha; la pérdida de la productividad fue del 86%, mientras que en Ghana solo ~~después~~ <sup>después</sup> de 8 años se comprobó una pérdida del 25% en cosechas de maíz y yuca. Otros datos para diferentes suelos y cosechas y regiones están entre estos dos extremos (7). En Yurimaguas,

CUADRO 3: Características químicas de los tres tipos de humus más importantes.  
(Tomado de Von Christen, 5).

Sitio	Tipo de humus	Tipo de suelo	Horizonte	pH	C %	C/N	C.I.C me/100	BT	S %
1.	Mull	(Eutropept)	A <sub>h1</sub>	5.8	20.4	11.0	164	112	68
		Diabosa fresca	A <sub>h2</sub>	6.1	3,0	-nd	100	64	64
2.	Moder	(Humox)	0	3.3.	24.9	13.0	136	11	8
		(Diabosa saprolita)	A <sub>h</sub>	4.2	10.2	13.1	76	7	9
3.	Humus-Bruto	(Humox?)	A <sub>h</sub>	3.4	44.3		28	1	4
				3.5	6.7	35.4 15.6	7	0,5	8

C.I.C : Capacidad de intercambio catiónico

BT : Bases de cambio

S : Saturación de bases (BT/CICx 100)

nd : no determinado

Características de los sitios:

1 y 2: Río Nima, Colombia, 2200 m/2000 mm., bosque nativo (C.V.C.)

3: Transvaal del Este, Sur Africa, 1300 m/900 mm, Pinus Patula (5)

Perú, se comprobó una pérdida en la producción de arroz de 2,9 a 0,2 toneladas por hectárea (4). Una formulación matemática para el agotamiento del suelo, al menos para el humus y los nutrimentos, solo puede darse en forma condicionada según la región de investigación. El cuadro 4, ilustra las tasas de descomposición del humus en las primeras capas del suelo, de 11 diferentes sitios de bosque lluvioso y sabana (Trinidad, Ghana, Ceilán, Uganda, Kenya y Senegal) bajo diferente utilización del suelo (desde cultivos permanentes hasta agricultura migratoria). Las tasas de descomposición del carbono oscilaron entre 2,5 y 25%<sup>año</sup> (con un promedio de 10%). Correspondientemente, el tiempo de reducción del capital del humus a la mitad, osciló entre 3 y 28 años. Las grandes oscilaciones de las tasas de descomposición de la materia orgánica deben atribuirse a las diferentes propiedades de los sitios, a la vegetación y al clima bajo diferentes medidas de cultivo y manejo de la vegetación. La información restringida no permite por el momento ninguna generalización.

#### Cambios climáticos después de la tala rasa

El calor, el aire y el contenido de agua de los ecosistemas experimenta en la fase de cultivo, por razón de la tala rasa del bosque, y del impacto de la lluvia, una serie de cambios. En la transformación de un bosque en sabana en la localidad de Cañas, Costa Rica, Daubenmiere (citado por 7), comprobó que la temperatura máxima en la sabana era hasta 10°C más alta que bajo bosque. En Mérida, Venezuela, se comprobó el mismo fenómeno, así como también influencias de la actividad biológica del suelo.

CUADRO 4: Descomposición del humus en sitios de bosque y sabana tropical por agricultura nómada y cultivo. (Según Jagnow, citado por 7.)

N°	Vegetación	Sitio	Cultivo	Años	% C	% N	%K <sub>C</sub> <sup>+</sup> 1/	2/
1	Bosque montano pluvial	Trinidad	Agricultura nómada	0	1,57 1,15	0,06 0,05	14,5	5
2	Bosque sec. joven	Trinidad	Maíz Leguminosas	0 6	1,02 0,84	0,13 0,11	3,2	22
3	Bosque sec. siempre verde lluvioso	Ghana	Maíz yuca	0 8	2,19 1,50	0,164 0,128	4,8	14
4.	Bosque lluvioso caducifolio	Ghana	Yuca	0 6	2,12 1,63	0,191 0,148	4,4	16
5.	Bosque lluvioso caducifolio	Ceylan	Agricultura migratoria	0 2	2,55 2,15	0,218 0,187	8,3	8
6.	Bosque lluvioso caducifolio	Ceylan	Agricultura migratoria	0 2	1,32 1,13	0,117 0,104	7,5	9
7a	Bosque lluvioso caducifolio	Ghana	Cultivo con sombra	3	1,44	0,155	15,8	4
b			A pleno sol	3	1,03	0,117	25,0	3
c			Pasto	3	1,11	0,121	22,6	3
d			cacao con sombra	12	1,71	0,178	2,5	28

Continúa...../

Continuación del cuadro 4.....

N°	Vegetación	Sitio	Cultivo	Año	% C	% N	%K <sub>C</sub> <sup>+</sup>	<u>1/</u>	<u>2/</u>
8	Bosque lluvioso caducifolio	Uganda	Algodón sorgo	0 17	3,30 0,97	0,292 0,080	6,5		11
9	Bosque lluvioso caducifolio	Kenya	Maíz Mucuna	0 4	1,20 0,42	0,13 0,04	23,1		3
10	Sabana arbustiva	Senegal	Sorgo maní	0 6	0,75 0,50	0,15 0,15	6,8		10
11	Sabana arbustiva	Ghana	Dioscorea maní	0 6	0,36 0,28	0,034 0,025	4,0		17

1/ % K<sub>C</sub> Tasa porcentual anual de pérdida de C orgánico en el tiempo de cultivo.

2/ Años estimados para el 50% de descomposición.

### Regeneración y productividad del suelo en el barbecho

La regeneración natural del suelo lleva consigo un enriquecimiento de la materia orgánica en la vegetación secundaria y con ello también en la parte superior del suelo; de esta manera la circulación del humus y de los nutrimentos en el ecosistema se vuelve a establecer. En este período de regeneración se ha comprobado un cambio gradual (en la vegetación secundaria pionera) de la composición florística (de acuerdo a la edad, utilización, clima y el suelo de la región), así como una acumulación de nutrimentos que depende del tiempo. Según investigaciones llevadas a cabo en el Congo, la producción de hojas alcanza después de dos años, sumás alto valor; más tarde se anota enriquecimientos en la biomasa de madera. Las raíces alcanzan después de 5 años, un 75% de los valores totales<sup>(15)</sup>.

Se suceden periódicamente enriquecimientos de la sustancia orgánica en la vegetación. Después de 16 a 20 años la biomasa alcanza entre 120 y 200 toneladas por hectárea (Región Carare, Colombia) (12). Los enriquecimientos del capital de nutrimentos en la vegetación secundaria de bosques tropicales (Colombia, y el Zaire), alcanzó los siguientes tenores a la edad de 16 a 20 años: 400 a 800 kilogramos N, 40-60 kilogramos P, 300-350 kilogramos K, 300-700 kilogramos Ca más Mg/hectárea (6, 12). Los resultados obtenidos en varias parcelas experimentales (después de talar y quemar el bosque) en el Carare, Colombia, para los primeros 10 centímetros del suelo, son similares a los obtenidos en Puerto Rico.

Respecto al aumento del humus durante la regeneración, se ha desarrollado una ecuación logarítmica cuya fórmula es la siguiente:

$$p = 1/k \ln A/A-k \times C$$

en la cual:

- p = tiempo de barbecho en años;
- k = constante de descomposición en porcentaje por año;
- A = la adición anual de humus (C) en kilogramos por hectárea;
- C = el contenido actual de carbono en kilogramos por hectárea.

Según ésta fórmula se esperan en los primeros años aumentos apreciables de humus.

#### El uso combinado bosque/cultivo

Este sistema de utilización del suelo tiene sus raíces en Burma, y surgió con el nombre de sistema Taungya. Las ventajas de tal sistema, han sido probadas en muchas partes de los trópicos. Los detalles sobre este tipo de utilización del terreno están fuera de los objetivos de estas notas. Solo se quiere mencionar que es uno de los tantos sistemas combinados árbol/cultivo los cuales ayudan al mejoramiento y al enriquecimiento de la materia orgánica.

ANEXO

Definición de los tipos de humus más comunes observados en Colombia según la clasificación alemana:

1. Tipos terrestres de humus

1.1. Descomposición rápida de la hojarasca y mezcla intensiva del humus y suelo mineral.

1.1.1. "MULL"

Humus que se forma predominantemente por la actividad zoogénica, en especial por lombrices. La mayor parte consiste de sustancias húmicas mezcladas con el suelo mineral.

El horizonte  $O_L$  (hojarasca poco alterada) es delgada y está directamente sobre el horizonte  $A_h$ .

El  $A_h$  es bien oscuro, profundo y migajoso.

1.2. Descomposición retardada de la hojarasca y mezcla incompleta ó ausente del humus y suelo mineral.

1.2.2 "MODER"

Humus que se forma todavía por la actividad zoogénica pero de mezcla incompleta con el suelo y por la presencia insignificante de las lombrices o por las características desfavorables de la hojarasca.

La profundidad de los horizontes dentro del humus ( $O_L$  -  $O_F$  -  $O_H$ ) es a menudo similar. Los límites entre estos horizontes y entre  $O_H$  y  $A_h$  son poco nítidos.

$O_H$  todavía contiene residuos vegetales con estructuras de fácil reconocimiento. El horizonte no es tan ligado por hifas de hongos que se desintegran en pedazos a presión

entre los dedos.

1.2.3. "HUMUS-BRUTO"

Humus en el que predomina la descomposición por hongos. Los horizontes  $O_F$  y  $O_H$  están fuertemente ligados por hifas de hongos de modo que se desintegra en pedazos angulares a presión de contacto. Límites nítidos entre  $O_H$  y  $A_h$ .

A veces existe horizonte  $O_H$  delgado.

El "Humus-Bruto" puede subdividirse en  $O_H$  rico y pobre en "Humus Menudo".

2. Tipos Semiterrestres de Humus

2.3.3. "MODER MOJADO" (Feuchtmoder)

Humus que se forma bajo la influencia de alta humedad y de alta acidez. La descomposición de la hojarasca es impedida.

El "MODER MOJADO" es mohoso, pringoso y en general pardo-rojizo, sin diferenciación marcada de los horizontes.

(Típico para los bosques naturales de la zona alta muy húmeda).

LITERATURA CITADA

1. ALEXANDER, E.B. and J.PICHOT. Soil Organic matter in relation to altitude in equatorial Colombia. Turrialba 29(3):183-188. 1979.
2. BARTHOLOMEW, W.V., J.MEYER, and H. LAUDELOUT. Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) region. Brussels. INEAC. Serie Sci N° 57. 1953. 27p.
3. CHRISTEN, H. VON. Some observations on the forest soils of south Africa. Forestry in South Africa (5):1-21. 1964.
4. \_\_\_\_\_ Clasificación preliminar y evaluación de los sitios de la tierra baja húmeda de Colombia para el manejo forestal con especial consideración de los suelos hidromórficos. Enfoques colombianos; temas latinoamericanos. Monografía N°8: Suelos del trópico. Bogotá. Fundación Friedrich Naumann. 9-103 pp. 1976.
5. \_\_\_\_\_ Aspectos edafológicos sobre el manejo de las plantaciones de coníferas en las cordilleras colombianas. Bogotá. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Manuscrito no publicado. 21p. 1978.
6. FASSBENDER, H.W. Ciclos de elementos nutritivos en ecosistemas forestales y su transformación con la agricultura rotativa. FAO-SIDA. Conferencia sobre ordenación y manejo de suelos tropicales. Lima, Perú, 3-15 octubre de 1977. 8p. Anexos.
7. FOLSTER, H. y H. FASSBENDER. Oekopedologische Grundlagen der Bodennutzung in den Tropen und Subtropen (Bases ecopedológicas del uso del suelo en los trópicos y subtrópicos). Vorlesungsmanuskript. Facultad Forestal. Universidad de Goettingen. 153p. 1978.

8. LEAMY & PANTON . Soil survey manual for malayan conditions. Min. Agric. Div. Agric. Bull. N° 119. Kuala Lumpur. 1966.
9. LUTZ, H. and R.F.CHANDLER. Forest soils. John Wiley Sons. New York. 5th. edition. 1951. 514p.
10. NYE, P. H. and D. J. GREENLAND. The soil under shifting cultivation. Commonw. Bureau of soils. Tech. Comm. N° 51. 1960.
11. SALAS, G. DE LAS and H.FOLSTER. Bioelement loss on clearing a tropical rain forest. Turrialba 26(2):179-186. 1976.
12. SALAS, G. DE LAS. El ecosistema forestal. Carare-Opón. Bogotá. CONIF. Serie Técnica N°8. 1978. 71p + Anexos.
13. \_\_\_\_\_ Algunas consecuencias de la remoción del bosque sobre el suelo y el ciclo de nutrimentos en regiones tropicales. En: Symposium on impact of intensive harvesting on forest nutrient cycling. Syracuse. State University of New York. College of environmental science and forestry. Agosto 13-17 de 1979. 421p.
14. SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. Wiley Sons. New York. 618p. 1976.
- 15.W WILLIAMS, C.N. and K.T.JOSEPH. Climate, soil and crop production in the tropics; revised edition. Kuala Lumpur. Oxford University Press. 1973. 137-150pp.