

## CAPITULO III

**EL HUMUS: SU CONSTITUCIÓN Y PROPIEDADES**



I. DEFINICIÓN DEL «HUMUS». — La palabra humus, usada ya en tiempo de los romanos para designar el suelo como un todo, ha sido aplicada en el transcurso del tiempo de muy diversas maneras, según las teorías sustentadas por los investigadores, originándose con ello una verdadera confusión respecto a su significación exacta, que todavía persiste en la actualidad, toda vez que, aun cuando para la mayoría la palabra humus representa la totalidad de la materia orgánica del suelo, para algunos es sólo la parte de dicha materia orgánica fácilmente oxidable [por el peróxido de hidrógeno (75) o por el permanganato potásico (45), y recientemente otros investigadores sólo consideran como humus *verdadero* la fracción de la materia orgánica del suelo insoluble en el bromuro de acetilo (55 y 131)].

Para Raman (115), el humus o las sustancias húmicas eran «complejos coloidales de composición variable, formados por coloides inalterados de la materia vegetal original, mezclados con productos de descomposición ricos en carbono». Odén (102) no toma en consideración la intervención de los microorganismos en las transformaciones de los residuos vegetales y animales que originan el humus y define éste como «aquellas sustancias de color pardo-amarillento a pardo-oscuro, de constitución desconocida, que se forman en la Naturaleza por la descomposición de las sustancias orgánicas bajo la influencia de agentes atmosféricos, o en el laboratorio por la acción de reactivos químicos (ácidos y álcalis principalmente); poseen marcada afinidad para el agua, y si bien no forman con ella verdaderas soluciones o dispersiones, muestran un claro hincharimiento».

Por el contrario, el microbiólogo norteamericano Waksman, teniendo en cuenta la considerable intervención de los microorganismos en el proceso de formación del humus, en su reciente obra sobre este tema (146), que hemos utilizado en gran parte como base para la redacción de este capítulo, define el humus como un agregado complejo de sustancias amorfas, de coloración parda a negra, que se origina

durante la descomposición de los residuos animales y vegetales por la acción de los microorganismos, en condiciones aerobias o anaerobias, en el suelo, en los abonos orgánicos, en las turberas y en las cuencas de agua. Químicamente está formado: por ciertos constituyentes del material vegetal original, resistentes a la descomposición; por sustancias en vías de descomposición; por complejos resultantes de la descomposición, a través de procesos hidrolíticos o de oxidaciones y reducciones, y por varios compuestos sintetizados por los microorganismos (fig. 5). El humus, para Waksman, es un cuerpo natural, una entidad compuesta, lo mismo que lo son los animales, las plantas y las sustancias microbianas, siendo químicamente mucho más complejo que ellas, puesto que todos estos materiales contribuyen a su formación. El humus posee, por tanto, un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que lo distinguen de los otros cuerpos orgánicos naturales, que pueden resumirse como sigue:

- 1.<sup>o</sup> Poseer un color variable del pardo oscuro al negro.
- 2.<sup>o</sup> Es prácticamente insoluble en el agua, aunque parte de él forma soluciones coloidales con el agua pura. El humus se disuelve en gran proporción en las soluciones alcalinas diluidas, sobre todo por ebullición, dando un extracto de color oscuro; gran parte de este extracto precipita cuando la solución alcalina se neutraliza mediante la adición de ácidos minerales. Algunos constituyentes del humus son también solubles en los ácidos diluidos, precipitando para un punto isoeléctrico de pH alrededor de 4,8.
- 3.<sup>o</sup> Es más rico en carbono que las plantas, los animales y los microorganismos; el contenido en carbono del humus es corrientemente del 55 al 56 por 100 y llega con frecuencia al 58 por 100.
- 4.<sup>o</sup> El humus contiene una cantidad considerable de nitrógeno, corrientemente del 3 al 6 por 100. Esta proporción puede ser menor, como ocurre, por ejemplo, en las turberas altas, en las que desciende al 0,5-0,8 por 100, y ser más elevada, como en algunos subsuelos, en los que alcanza al 10 y al 12 por 100.
- 5.<sup>o</sup> En muchos suelos, y en el fondo del mar, el contenido en carbono y nitrógeno del humus se encuentran en la relación 10 : 1. Esta relación varía bastante con la naturaleza del humus, su grado de descomposición, la naturaleza del suelo y la profundidad a que se estudie, así como con las condiciones climáticas y otras condiciones del medio en que se ha formado.
- 6.<sup>o</sup> El humus no se encuentra en una condición estática, sino

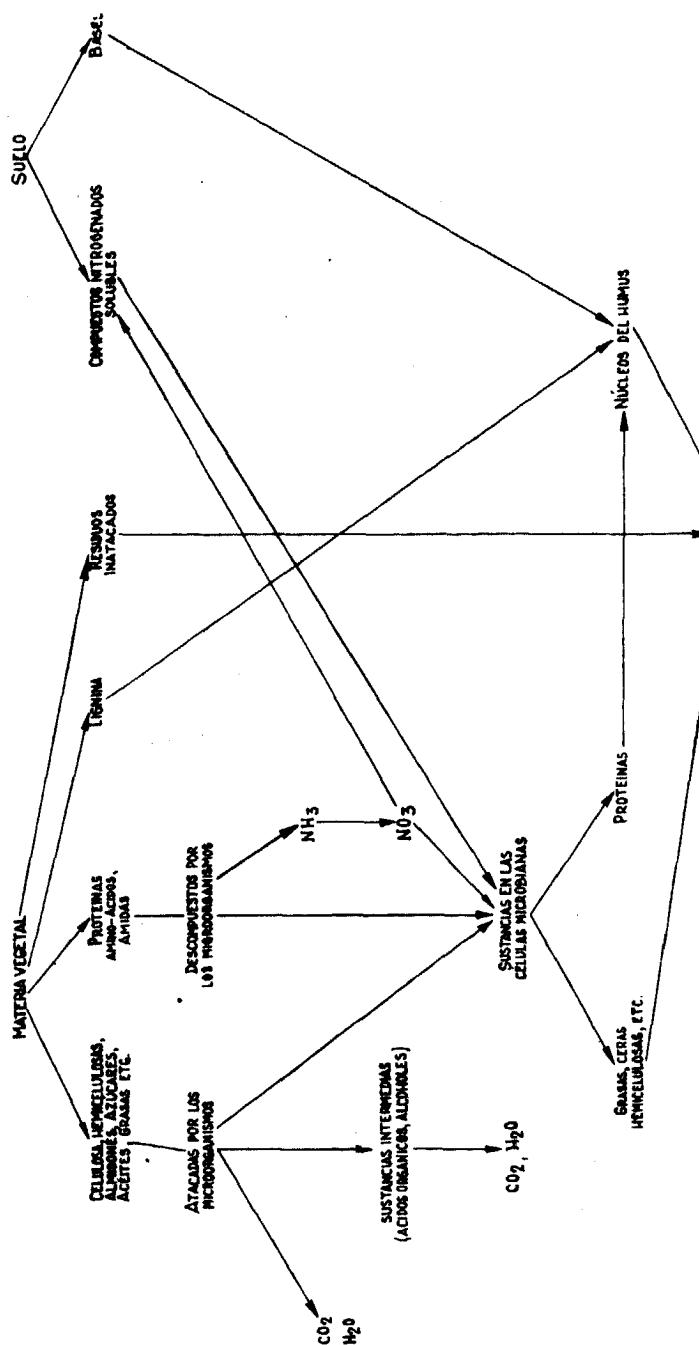


FIG. 5.—Representación esquemática del mecanismo de formación del humus, a consecuencia de la descomposición de los residuos vegetales en el suelo. (Waksman)

dinámica, ya que se está formando constantemente a expensas de los restos vegetales y animales y también constantemente está siendo descompuesto por nuevas acciones microbianas.

7.<sup>o</sup> El humus es utilizado como fuente de energía para su desarrollo por varios grupos de microorganismos y durante su descomposición emite una corriente continua de anhídrido carbónico y de amoníaco.

8.<sup>o</sup> Finalmente, el humus se caracteriza por una gran capacidad de cambio de bases, de combinarse con varios constituyentes inorgánicos del suelo, de absorber agua y de hincharse y por otras propiedades físicas y físico-químicas que hacen de él un valioso constituyente de los substratos que soportan la vida vegetal y animal.

Las funciones del humus en el suelo son, por tanto, de tres clases: *físicas*, modificando el color, la textura, la estructura, la capacidad de retención del agua y la aireación del suelo; *químicas*, modificando la solubilidad de ciertos minerales del suelo, combinándose con algunos elementos, como el hierro, a los que coloca en condiciones de ser asimilados más fácilmente por las plantas, y aumentando las propiedades amortiguadoras del suelo, y *biológicas*, sirviendo como fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos, mejorando las condiciones del suelo como medio para el desarrollo de las plantas superiores y proporcionando un lento, pero continuo flujo de elementos nutritivos para la vegetación.

El humus puede considerarse como un depósito regulador de elementos químicos indispensables para el mantenimiento de la vida vegetal sobre la tierra, tales como el carbono y el nitrógeno y, en menor medida, el fósforo, el calcio, el hierro, el manganeso y otros. La utilización de algunos de estos elementos contenidos en la fracción inorgánica del suelo está también influenciada por el humus mediante reacciones químicas con los complejos minerales. Para apreciar debidamente la extraordinaria importancia del humus, tanto en el conocimiento del origen y naturaleza del suelo, como en relación con los procesos que regulan el desarrollo de la vegetación, basta considerar: los efectos coloidales del humus sobre el suelo; sus propiedades amortiguadoras, que modifican la reacción del mismo; su poder de combinación con las bases; su influencia sobre el potencial de óxido-reducción del suelo; la adsorción de determinadas sustancias tóxicas para la vegetación; su influencia sobre la estructura, la capacidad de retención de agua y la temperatura del suelo, y su facultad para suministrar ciertos agentes catalíticos y pequeñas cantidades de sales.

dades de elementos raros, esenciales para el crecimiento de las plantas. En el humus se concentran elementos raros del suelo, tales como boro, níquel, germanio, arsénico, berilio, cobalto, cinc, estaño, plomo, titanio, etc.; la capa del subsuelo carece de la mayoría de los elementos raros. Goldschmidt (49) pone de manifiesto este hecho, para algunos de dichos elementos, en el siguiente cuadro:

### CUADRO NÚM. 3

#### ENRIQUECIMIENTO DE ELEMENTOS DURANTE LA FORMACIÓN DE HUMUS DE ROBLE Y HAYA. (GRAMOS POR TONELADA.) (Goldschmidt.)

	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	NiO	GeO <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Suelo mineral (arena).....	7	400	20	5	3
Cenizas de hojas frescas. Roble...	5.000-10.000	20.000	50	5	3
Cenizas de humus de roble.....	200	2.400	100	70	3
Cenizas de humus de haya.....	30	1.400	100	70	500

CONSTITUCIÓN QUÍMICA DEL HUMUS.— Dada la extremada complejidad de las materias de que procede el humus y la diversidad de procesos que intervienen en su formación (hidrólisis, oxidaciones, reducciones, condensaciones, síntesis en las células microbianas, etc.) se comprende fácilmente que el estudio de su naturaleza química sea de una gran dificultad, habiéndose emitido las más variadas hipótesis por los numerosos investigadores que se han ocupado de estudiar esta materia.

No entra en el plan de este trabajo seguir el intrincado proceso histórico de los estudios sobre la composición química del humus, ni analizar las numerosas hipótesis emitidas sobre ella; el adjunto cuadro (cuadro núm. 4), en el que se recogen las denominaciones propuestas por algunos de los principales investigadores para los diversos constituyentes del humus, da una idea del estado de confusión en esta materia. El lector que desee adquirir una más amplia información sobre el tema, puede obtenerla en las obras de Sven Odén (102 y 103), Waksman (146) y Albareda (3).

En opinión de Waksman, los principales factores que han ocasionado este estado de confusión, que hoy día persiste, referente a la constitución química del humus son los siguientes:

## C U A D R O

### RESUMEN DE LOS NOMBRES PROPUESTOS POR DISTINTOS INVESTIGADORES BILIDAD EN LOS ÁLCALIS

PREPARACION	INVESTIGADORES				
	SPRENGEL 1826	BERZELIUS 1839	MULDER 1840	HERMAN 1841	SENFT 1862
1. Insoluble en los álcalis.....	Carbón de humus ..	Humina.....	Humina, ulmina ..	Anitrohumina, nitrohumina, nitrolina.....	Geína, ulmina, humina..
2. Soluble en los álcalis, precipitado por ácidos, insoluble en el alcohol.....	Acido de humus ..	Acido húmico	Acido húmico....	Acidos anitrohúmico, succrohúmico, lignohúmico y metalignohúmico.	Acido húmico, acido geíngico.....
3. Soluble en los álcalis, precipitado por ácidos, soluble en alcohol.....	Acido de humus ..	Acido húmico	Acido tímico....	Acidos tórfico, tímico, apocrénico, árvico, apoárvico, porla, apocrénico, etc .....	Acido tímico..
4. Soluble en los álcalis, no precipitado por los ácidos.....		Acidos crénico y apocrénico.....	Acidos glúcicos y apoglúcicos ....	Acidos lignocrénico, humocrénico, torfocrénico, anitrocrénico, porlacrénico y oxicrénico..	Acidos gefníco, crénico y apocrénico...

# NÚMERO 4

PARA LAS DIVERSAS FRACCIONES DEL HUMUS, BASÁNDOSE EN SU SOLUCIÓN AL ALCOHOL (Waksman).

A D O R Y A Ñ O

DETMER 1871	SESTINI 1881	EGGERTZ 1888	HOPPESSEYLER 1889	EULER 1908	O'DEN 1919	PAGE 1930
	Saculmina....	Cuerpos del humus.....	Humina.	Carbón de humus...	Carbón de humus...	Fracción humina de la materia húmica.
Acido húmico	Acido sacúmico.....	Acidos del humus.....	Acidos húmicos...	Acido de humus...	Acido de humus...	Fracción «ácido húmico» de la materia húmica.
Acido húmico	Acido sacúmico.....	Acidos del humus.....	Acido hymatome-lánico...	Acido hymatome-lánico...	Acido hymatome-lánico...	"
	" . . . . .	" . . . . .	" . . . . .	" . . . . .	Acido fulvico....	Materia no húmica.

1.<sup>o</sup> La introducción de numerosos nombres para designar los componentes del humus de coloración oscura, sin la debida atención a que éstos representan solamente preparados y no compuestos químicos específicos.

2.<sup>o</sup> La persistencia en la designación de varios preparados de humus, obtenidos mediante tratamiento de los suelos, turba, carbones y abonos naturales, por los álcalis, utilizando denominaciones introducidas cuando la Química orgánica estaba en su infancia y cuando los compuestos orgánicos se consideraban de naturaleza relativamente sencilla.

3.<sup>o</sup> La confusión causada por la inadecuada comparación de preparados artificiales, obtenidos mediante el tratamiento de azúcares por ácidos inorgánicos, con los preparados naturales obtenidos de los suelos, turba, carbón y abonos naturales.

4.<sup>o</sup> El desconocimiento del papel que desempeñan los microorganismos en los procesos de descomposición de los residuos vegetales y animales que conducen a la formación del humus.

Por tanto, dice Waksman, se puede considerar justificado el abandono sin reservas de toda la nomenclatura de los «ácidos húmicos», empezando por las huminas y ulminas, siguiendo por toda la serie de ácidos de humus, hymatomelánico, crénico, apocrénico, etc., y terminando por los ácidos fúlvico y humal, que son las últimas adiciones a la lista. Todas estas etiquetas no designan compuestos químicos definidos, sino simplemente diversos preparados que se han obtenido mediante procedimientos específicos. El único nombre que merece conservarse por su importancia histórica es el de *Humus*, utilizándole para designar la totalidad de la materia orgánica del suelo y pudiendo denominar «materia o sustancias húmicas» a la totalidad de los complejos contenidos en el humus.

Varios investigadores, principalmente Schreiner y Shorey (126), han aislado del humus numerosos compuestos químicos, de los que unos se encontraban en estado libre, otros estaban combinados con bases minerales, con ácidos o con sustancias orgánicas constituyendo ésteres, y algunos formando, probablemente, parte de moléculas voluminosas o complejos. Algunos de los compuestos químicos aislados formaban parte del material original, mientras que otros se han formado durante su descomposición por las bacterias, hongos, protozoos, gusanos e insectos del suelo, o bien han sido sintetizados por los microorganismos, entrando a formar parte de sus células y quedando en libertad a su muerte.

Entre los compuestos químicos aislados, merecen mencionarse los siguientes: de los esteroles, el *agrosterol*,  $C_{28}H_{48}O-H_2O$ , y el *fitosterol*,  $C_{28}H_{48}O-H_2O$ ; varios ácidos orgánicos de composición conocida (que no deben confundirse con los *ácidos húmicos* de composición desconocida), entre los que figuran los ácidos *oxálico* ( $COOH_2$ ); *succínico* ( $CH_3-COOH_2$ ); *sacárico* ( $COOH-(CHOH)_4-COOH$ , ampliamente distribuido en el suelo; *monooxiesteárico*,  $CH_3-(CH_2)_7-CHOH-(CH_2)_7-COOH$ , y *dioxiesteárico*,  $CH_3-(CH_2)_7-CHOH-CHOH-(CH_2)_7-COOH$ ; *benzoico*,  $C_6H_5-COOH$ , y *parahidroxibenzoico*,  $OH-C_6H_4-COOH$ , más abundante que el anterior; *agrocérico*,  $C_{11}H_{18}O_3$ ; *parafínico*,  $C_{24}H_{48}O_2$ , presente en la mayoría de los suelos, aunque en cantidades muy pequeñas; *lignocérico*,  $C_{24}H_{48}O_2$ , isómero del anterior, procedente, probablemente, de la acción de los microorganismos sobre el complejo lignina, y muy abundante en el humus, del que a veces llega a constituir el 20 por 100; *humocérico*,  $C_{10}H_{24}O_2$ , y diversos ácidos resinosos, así como sus ésteres. Los *aldehidos* se encuentran representados en casi todos los suelos, pero la mayoría de los aislados no han sido identificados hasta ahora. Los *hidratos de carbono* son muy abundantes en el humus, sobre todo en el de los suelos forestales y turberas, entre ellos *pentosas* y *pentosanas* de fórmula  $(C_5H_8O_4)_n$ ; *ácidos urónicos*, *celulosa* y *diversos glucósidos*.

Entre los elementos orgánicos nitrogenados se han aislado del humus: varios *amino-ácidos*, procedentes, sin duda, de la descomposición de prótidos por los microorganismos, entre otros la *leucina* e *isoleucina*,  $C_6H_{13}NO_2$ ; la *histidina*,  $C_6H_9N_2O_2$ ; la *arginina*,  $C_9H_{14}N_4O_2$ , y la *lisina*,  $C_8H_{14}N_2O_2$ ; *amidas*, insolubles en su mayor parte, que por la acción de los álcalis y ácidos se convierten en amidas solubles y amoniaco, constituyendo del 16 al 30 por 100 del nitrógeno hidrolizable del humus, habiéndose observado en suelos forestales la presencia de la urea,  $CO(NH_2)_2$ ; *aminas*, como *trimetilamina*,  $N(CH_3)_3$ ; *colina* ( $CH_3)_3NOH-C_2H_5OH$ ; *creatinitina*,  $C_4H_{11}N_3O$ ; *xantina*,  $C_6H_6N_4O_2$ ; *hipoxantina*,  $C_6H_6N_4O$ ; *guanina*,  $C_5H_5(NH_2)N_4O$ ; *alantoina*,  $C_4H_8N_4O_3$ ; *ácido picolinícarbonico*,  $C_7H_7NO_2$ , y, finalmente, *proteínas* de origen animal y vegetal, y sobre todo microbiano.

Debido a la dificultad encontrada para la extracción de proteínas del suelo, se supone que no se encuentran en estado libre, sino formando complejos ligados a otros compuestos, sobre todo a la lignina. Waksman, mezclando soluciones alcalinas de lignina y proteínas y precipitando la mezcla mediante ácidos o sales, ha obtenido una serie de complejos lignoproteicos, que designa con la denominación de

«núcleos del humus», que presentan una gran semejanza en color, solubilidad en el agua y los álcalis, comportamiento químico y resistencia al ataque de los microorganismos, con la materia húmica o fracción -  $\alpha$  del humus.

Además de los compuestos anteriormente mencionados, se han aislado del humus compuestos orgánicos fosforados, principalmente ácidos nucleicos y lecitina y compuestos orgánicos con azufre.

**INFLUENCIA DEL HUMUS EN LOS TIPOS DE SUELO.** — La naturaleza y descomposición de los residuos orgánicos desempeña un papel importante en la formación del suelo y en la determinación de los tipos específicos del mismo. Los caracteres diferenciales de los distintos tipos de suelos dependen no sólo de su constitución mineral, sino también de las diferencias en el humus provocadas por los agentes climáticos que determinan el tipo de vegetación y la marcha de la descomposición de los residuos vegetales. Incluso se ha comprobado (40 y 52) que un suelo puede cambiar de tipo por un cambio en la forma de descomposición de la materia orgánica, consecutivo a una variación en el tipo de vegetación, en la aireación del suelo y en la reacción del mismo.

El perfil de un suelo está formado por capas u horizontes, cada uno de los cuales viene caracterizado por una determinada concentración de humus con propiedades físicas y químicas específicas; de modo que, como dice Glinka (47), para conocer la naturaleza y el origen de un tipo de suelo no basta con determinar la cantidad de humus que contiene, sino que es esencial conocer la composición química de éste.

La capa superior del perfil del suelo es, por lo general, de color más oscuro, a consecuencia del mayor contenido de humus; la capa superficial de humus que existe, por ejemplo, en los suelos forestales se la considera como formando parte del horizonte de eluviaión, siendo designada por  $A_0$ , mientras que las restantes capas del mismo se designan  $A_1$ ,  $A_2$ , etc. La capa  $A_0$  contribuye al proceso de eluviaión o lavado, suministrando los productos de la desintegración de los residuos orgánicos o fracciones húmicas y liberando  $CO_2$ , así como ácidos nítrico y sulfúrico, que reaccionan con las sustancias minerales del suelo, produciendo cambios señalados en su composición y su cambio de posición en el perfil. Los complejos húmicos reaccionan con los componentes inorgánicos del suelo en el horizonte  $A$ , principalmente con los sesquióxidos de hierro y aluminio, así como con los fosfatos y silicatos, y aceleran su arrastre por las aguas de infil-

tracción en el proceso de lavado. Tamm (137) ha demostrado que el proceso de desilicatización se produce como consecuencia del desplazamiento del  $\text{SiO}_2$  por determinados complejos húmicos. Los materiales lavados, sobre todo los sesquióxidos y el humus, se depositan en el horizonte de acumulación B, que va enriqueciéndose en bases y en coloides, tanto orgánicos como inorgánicos. La cuantía de la acumulación de los diferentes materiales en el horizonte B es muy variable, dependiendo de la naturaleza del suelo, de los residuos orgánicos, de la rapidez de su descomposición y del clima. Por lo general, la naturaleza de los perfiles A y B, que son los que caracterizan sobre todo el perfil del suelo, depende en gran medida de las condiciones climáticas.

Desde el punto de vista de la cantidad y naturaleza del humus, se encuentran en la actualidad caracterizados cuatro clases de suelos:

I. Suelos de naturaleza predominantemente orgánica. Constituyen las turberas, y se forman en condiciones de humedad excesiva, la mayor parte en condiciones pantanosas.

II. *Podsol*, suelo pardo forestal, suelos rojo y amarillo. Estos suelos muestran un rápido descenso en el contenido húmico desde la superficie hasta una profundidad de 15 cms.; el porcentaje de materia orgánica es muy bajo a poca profundidad. En las regiones templadas, con clima húmedo y frío, los suelos se podsolizan. Los *podsoles*, que se consideran como suelos forestales, especialmente de montes de coníferas, se encuentran también bajo otros tipos de vegetación, constituyendo los *podsoles* de brezal, de praderas, de turberas, de gley, etc.

III. Suelo de pradera, *chernosem*, suelos castaño y pardocastaño de pradera. Estos suelos se forman en climas relativamente secos, bajo un abundante desarrollo de vegetación herbácea (estepas, praderas); son ricos en humus, el cual desciende hasta una gran profundidad: un metro o más.

IV. Suelo gris, *serosem*, suelo castaño (suelos áridos). Estos suelos se forman bajo la influencia de un clima muy seco, con lluvias limitadas; el contenido en humus es muy bajo y su papel en la formación de estos suelos es discutible, aunque sin duda desempeña un papel importante en su fertilidad.

I. TURBERAS. — Waksman y Stevens (150) han definido las turberas como «una capa de la corteza terrestre, formada principalmente por materia orgánica procedente de la descomposición parcial e incompleta de los diversos componentes de la vegetación, a consecuen-

cia de las condiciones anaerobias en que esta descomposición se ha llevado a cabo; la naturaleza de la turba depende del tipo de asociación vegetal de que procede, y éste, a su vez, de la cantidad de alimentos minerales y de la reacción de las aguas en que se han formado las plantas; la composición química de la turba está influída por la naturaleza de la asociación vegetal de que procede y por las condiciones de humedad durante el período de formación y acumulación y en el período siguiente».

Durante la primera fase del desarrollo de una turbera de pantano, algas y otras plantas acuáticas, residuos de plantas terrestres tales como esporas, granos de polen, hojas, etc., así como partículas de polvo, se van acumulando bajo el agua, constituyendo la primera capa del fondo de la turbera. Tan pronto como el espesor de la capa de agua va disminuyendo, este proceso es seguido por una zona de vegetación acuática, incluyendo las juncáceas, y como por las condiciones anaerobias que predominan en el pantano no existe equilibrio entre la descomposición de los residuos y el crecimiento de la vegetación, se van acumulando los residuos vegetales inatacados y los parcialmente descompuestos. Cuando el nivel de la turbera, elevado por el continuo depósito, alcanza el del terreno colindante, se desarrolla sobre ella una vegetación de herbáceas, matorral y *Sphagnum*, apareciendo finalmente las coníferas; en algunas ocasiones pueden aparecer más tarde diversas frondosas, que incluso llegan a reemplazar totalmente a las coníferas. En esta fase la superficie de la turbera se encuentra más alta que el nivel del agua y empieza a establecerse un cierto equilibrio entre los procesos de acumulación y descomposición de los residuos vegetales. Si por cualquier circunstancia se eleva bruscamente el nivel de las aguas, desaparecen los árboles, que son reemplazados por plantas inferiores, mejor adaptadas a las nuevas condiciones, empezando un nuevo período de acumulación de residuos vegetales. Las capas de turba negra y perfectamente descompuesta indican períodos de sequía o de nivel bajo de las aguas; cuando estas capas se encuentran a diferentes niveles, indican que tales condiciones se han producido en épocas diversas durante la formación de la turbera. Por el contrario, capas de residuos vegetales poco descompuestos y de aspecto fibroso indican períodos de elevación del nivel del agua o de grandes y prolongadas lluvias.

Atendiendo a la naturaleza de las plantas que han dado origen a los diversos tipos de turberas, éstas pueden clasificarse del siguiente modo:

1.<sup>o</sup> *Turbera baja* (*Lowmoor peat*, en inglés; *Niederungsмоor*, en alemán). — Las especies dominantes y características son varias Juncáceas, Ciperáceas y Gramináceas, entre ellas *Molinia cærulea* y *Nardus stricta*, así como algunos árboles y arbustos, no encontrándose en ellas o siendo muy raros los *Sphagnum*. Este tipo suele subdividirse, según la especie dominante, en turbera de *Carex*, turbera de *Phragmites*, turbera de *Cladium*, etc. De ordinario, se forman en lugares que reciben de terrenos más elevados, aguas de infiltración ricas en calcio y sales; se caracterizan químicamente por ser ricas en nitrógeno y cenizas, tener poca celulosa y ser de escasa acidez, oscilando su pH entre 5,5 y 6,5.

2.<sup>o</sup> *Turbera alta* (*Highmoor peat*, en inglés; *Hochmoor*, en alemán). — La vegetación dominante está formada por especies de *Sphagnum*, *Calluna*, *Ledum*, *Andromeda* y *Eriophorum*. Este tipo de turbera se forma en aguas procedentes de lluvias o de suelos minerales pobres, que contengan poco calcio. La turbera alta puede formarse sobre una de otro tipo o bien directamente sobre arena, arcilla o roca. Suele encontrarse, de ordinario, en regiones de temperatura moderada o fría, con elevadas precipitaciones acuosas. Químicamente se caracteriza por su pobreza en nitrógeno y cenizas, y su riqueza en celulosa y hemicelulosas; su acidez es elevada, estando su pH comprendido entre 3,5 y 4,5, por lo general.

3.<sup>o</sup> *Turbera forestal* (*Forest peat* en inglés; *Föhrenwaldtorf*, en alemán). — Procede de una vegetación arbórea (pinos, abetos, abedules, alisos), con ciertas plantas inferiores (*Calluna*, *Oxycoccus*, *Salix*, *Andromeda*, *Carex*), y a veces también especies del género *Sphagnum*, que pueden formar una especie de tapiz en el monte. Las condiciones pantanosas son mantenidas en parte por aguas de infiltración, menos ricas en sales que las de las turberas bajas, y por las procedentes de lluvias. Por su composición química, estas turberas constituyen un tipo intermedio entre las dos anteriores.

4.<sup>o</sup> *Turbera sedimentaria o lacustre*. — Este tipo de turba se forma bajo el agua, principalmente por algas y otras plantas acuáticas y por animales (caparazones de insectos), con mezcla de esporas, granos de polen y partículas de arcilla y arena. De ordinario se encuentra en las capas inferiores del perfil de la turbera, pero puede formar también turberas independientes de espesor considerable. Varía mucho según la naturaleza de los residuos vegetales, la abundancia de carbonato cálcico, arena y arcilla, su estado coloidal, etc., habiendo recibido nombres muy diversos: *sapropel*, *dy*, *gyttja*, *liver peat*, etc.

Después de la regresión de los últimos glaciares, los lagos originaron turberas sedimentarias y bajas; el desarrollo de millares de generaciones de musgos sobre ellas dió lugar a la formación de las turberas altas. Según Weber (153) y (154), en Europa tuvo lugar un cambio de clima, con elevación de temperatura y sequedad, que limitó el desarrollo de los *Sphagnum* y provocó la rápida descomposición de las turberas altas; más tarde, se restableció el clima anterior, que subsiste hoy día, reapareciendo los *Sphagnum*, que dieron origen a nuevas turberas. Las turberas antiguas y las nuevas aparecen separadas por un horizonte marcado, que puede considerarse como la capa superior del depósito antiguo.

II. «PODSOL». — El perfil de un *podsol* es sumamente típico, y sus principales características bastante constantes, aun cuando en circunstancias variadas presente diversas gradaciones. El perfil de este suelo consta de tres o cuatro horizontes genéticos:

1. El horizonte denominado  $A_0$  o  $A_1$ , en el que se forma y aun se acumula el humus.

2. El horizonte de eluviación o lavado,  $A_2$ , del cual es sustraído el humus, por las aguas de infiltración; esta capa de suelo es de coloración variable del gris claro al gris oscuro.

3. Debajo del anterior se encuentra el horizonte de iluviación o depósito, B, en el que se deposita el humus sustraído de  $A_2$ ; el suelo es de color amarillo o pardo, de tono más oscuro en la parte superior, pasando gradualmente a la roca madre. En algunos casos es de coloración uniforme, pero en otros presenta una desigual distribución de alios; el color de este horizonte depende de su contenido en hierro y humus, y su espesor varía de algunos centímetros a varios metros.

4. La roca madre u horizonte C.

Es característica del perfil del *podsol* una diferencia marcada entre el contenido en humus de los horizontes  $A_1$  y  $A_2$ , como puede apreciarse en el siguiente cuadro (50), que muestra el contenido húmico en dos perfiles de *podsol* de prados permanentes y la velocidad de descomposición del mismo medida por la producción de  $\text{CO}_2$  y por la acumulación de nitratos. El humus del horizonte B es mucho más resistente a la descomposición que el de los horizontes A.

## CUADRO NÚM. 5

NATURALEZA Y DESCOMPOSICIÓN DEL HUMUS EN DOS PERFILES DE «PODSOL». (Gray y McMaster).

Horizonte	pH	Contenido en humus (C x 1,724) %	Nitrógeno %	C/N	Produc- cción de CO <sub>2</sub> (*)	Forma- ción de ni- tratos (**)
A <sub>1</sub> .....	5,23	29,41	0,67	25,6	138,8	86
A <sub>2</sub> .....	4,63	0,98	0,04	14,5	5,3	Traz.
B.....	5,15	5,98	0,19	18,3	6,1	Traz.
A <sub>1</sub> .....	5,10	54,02	1,31	23,9	358,3	308
A <sub>2</sub> .....	5,25	1,07	0,03	19	14,2	18
B.....	5,46	3,81	0,14	15,4	5,6	9

(\*) Miligramos de CO<sub>2</sub> producidos por 100 gramos de suelo en cien horas.

(\*\*) Partes de nitrato acumuladas por un millón de partes de suelo durante veinticuatro a veintinueve días.

Tamm (137) distingue tres tipos de *podsol*:

1. *Podsol ferruginoso*, en el que el horizonte A<sub>1</sub> está formado por humus crudo o *mor*, y tiene un espesor superior a 10 centímetros.
2. *Podsol húmico-ferruginoso*, con gran contenido húmico, que puede llegar al 22 por 100, en el horizonte B; este humus es totalmente soluble en amoníaco. El horizonte A<sub>1</sub>, por lo general turboso o de *mor* húmedo, tiene un espesor de 5 a 30 centímetros.
3. *Podsol húmico*, cuyo horizonte, A<sub>1</sub>, está formado por turba o *mor* húmedo. El *podsol* húmico lo subdivide en: a) *podsol* húmico, con enriquecimiento considerable en el horizonte B, sin formación de *alios*; b) *podsol* húmico, con formación de *alios*; c) *podsol* húmico, con enriquecimiento débil en el horizonte B, teniendo el horizonte A<sub>1</sub> menos de 30 centímetros de espesor, y d) semejante al c), pero con el horizonte A<sub>1</sub> de más de 30 centímetros de espesor.

Se denomina *alios* (*pan*, *hardpan*, en inglés; *ortstein*, en alemán) a una capa de suelo duro y compacto que se forma durante el proceso de *podsolización* a una distancia de la superficie del terreno de 25 ó más centímetros. Según Ramann (114), el *ortstein* era una capa de suelo, corrientemente arena, cementada por el humus modernamente se considera el *alios* como arena cementada por un complejo coloidal formado por humus, ácido silílico, óxidos de hierro y aluminio y partículas de arcilla, complejo que adsorbe pequeñas cantidades de

calcio, magnesio, sodio y fosfatos. El alios rico en humus es blando, mientras que el que contiene mucho hierro es duro. Acostumbra a distinguirse en los *podsoles* tres clases de alios:

1.<sup>a</sup> *Alios blando*, formado por una masa muy rica en humus y escasamente cementada.

2.<sup>a</sup> *Alios verdadero*, muy cementado, duro, de consistencia rocosa, con un contenido medio en humus y coloración del pardo oscuro a negra; y

3.<sup>a</sup> *Alios pardo oscuro*, muy duro y conteniendo escasa cantidad de humus.

Para Morison (96), la formación del alios depende de varios factores:

- 1.<sup>o</sup> Formación de una capa de humus ácido.
- 2.<sup>o</sup> Sustracción del calcio soluble en la capa subyacente.
- 3.<sup>o</sup> Formación de soles húmicos.
- 4.<sup>o</sup> Desarrollo, por parte de estos soles, de una acción protectora sobre los coloides inorgánicos de  $\text{Fe(OH)}_3$ ,  $\text{Al(OH)}_3$  y ácido silílico.
- 5.<sup>o</sup> Transporte y acumulación de estos materiales hasta una cierta profundidad del suelo; y
- 6.<sup>o</sup> Coagulación de los soles transportados.

III. TIERRA NEGRA O «CHERNOSEM».—Estas tierras han sido objeto de estudios muy numerosos, habiéndose emitido diversas hipótesis respecto a su origen, siendo la más generalmente aceptada la emitida por el ruso Dokutchaiév (35), según la cual el humus de estas tierras procede de una vegetación herbácea; la humedad y temperatura de las estepas y praderas favorece el desarrollo abundante de hierba, pero no la descomposición de los residuos orgánicos, que es más lenta que su producción. En las tierras negras de Rusia se encuentra el máximo contenido de humus en el centro de una amplia zona de praderas y va decreciendo a medida que se avanza hacia el Sur. Dokutchaiév construyó un mapa esquemático de la región del *chernosem* en la Rusia europea, en el que señaló los suelos con análogo contenido húmico que formaban zonas paralelas, que denominó *isohumáticas*.

Corrientemente, el horizonte húmico de las tierras negras tiene de 50 a 200 centímetros de espesor, con un contenido húmico que varía del 6 al 10 por 100, aunque puede descender al 4 por 100 sobre subsuelos arenosos, y en otros casos subir hasta un 20 por 100. En el análisis de 50 suelos típicos de *chernosem*, Kossovitch (77) encontró que el contenido en humus variaba del 2,27 al 19,77 por 100, con

un porcentaje de nitrógeno del 0,14 al 1 por 100, variando la concentración de nitrógeno en el humus del 4,1 al 8,2 por 100. La relación C/N media fué de 11,96. El complejo adsorbente en los suelos *chernosem* está saturado con bases, principalmente calcio y magnesio (44). Este hecho determina propiedades características de estos suelos, tales como la constancia del complejo adsorbente, que es muy resistente a la acción del agua, y la falta de horizontes de iluviaciόn o depósito en ellos.

Según Kostytchev (78), las características del *chernosem* pueden resumirse del siguiente modo:

- 1.º Estos suelos poseen un contenido en materia orgánica relativamente alto, al que deben su color negro.

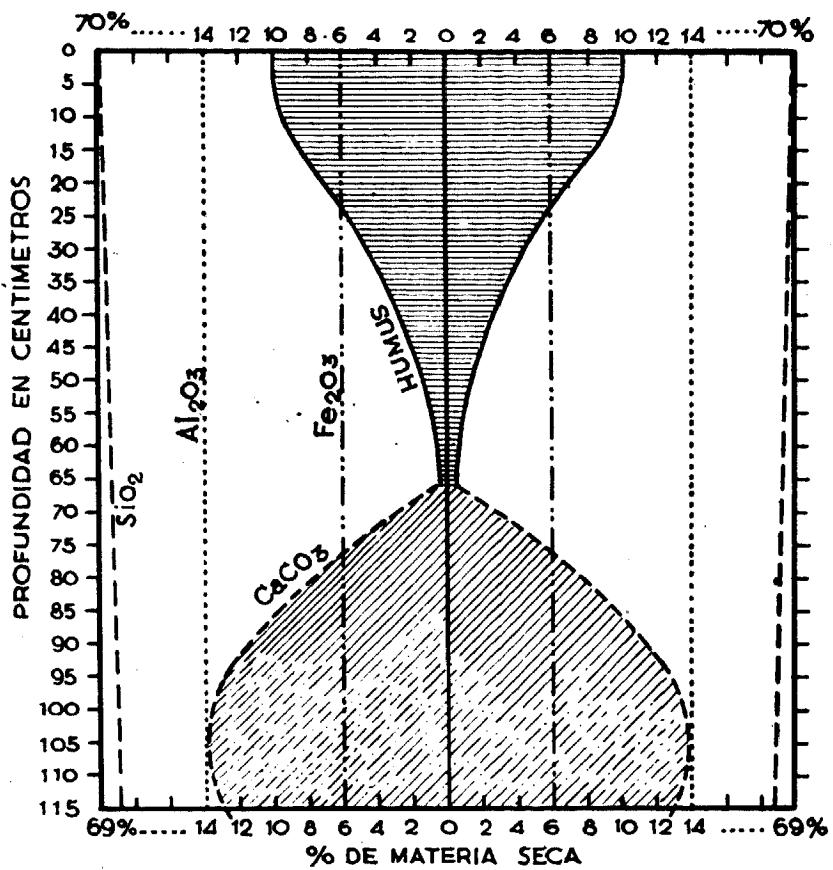


FIG. 6. — Distribución del humus en un perfil de suelo *chernosem*. (Neustruev.)

2.<sup>a</sup> La materia orgánica no se encuentra en la misma proporción en las distintas capas del suelo, sino que disminuye con la profundidad, no existiendo una transición brusca desde la coloración negra de la superficie del suelo a la más clara del subsuelo (fig. 6).

3.<sup>a</sup> La materia orgánica del *chernosem*, independientemente de las raíces, es de naturaleza amorfa; el examen microscópico revela que es de origen vegetal, principalmente de plantas herbáceas.

4.<sup>a</sup> Los suelos *chernosem* se han formado *in situ*, a expensas de las mismas plantas que hoy crecen en ellos y bajo condiciones iguales a las dominantes actualmente.

Una disminución en la humedad del suelo, bajo determinadas condiciones climáticas y topográficas, ocasiona la acumulación de sales solubles y carbonatos alcalinos y, como consecuencia, que el calcio y el magnesio vayan siendo reemplazados gradualmente, en el complejo adsorbente, por el sodio. De este modo se originan los *suelos salinos*, *solonchak*, seguidos de la formación de *suelos alcalinos*, *solonets*, cuando la arcilla y el humus son saturados fuertemente por el sodio. La abundancia y distribución del humus en estos suelos está muy influída por su situación geográfica y su composición química. Glinka (47) señala las siguientes cantidades de humus en un perfil de *solonchak* de Siberia:

PROFUNDIDAD cm.	Contenido húmico %	Pérdida por calcinación %	CO <sub>2</sub> en carbonatos %
0-8	6,85	10,68	1,24
10-17	1,89	4,41	3,84
45-58	1,41	4,34	1,44
125-138	1,87	4,06	0,08

En los *solonets*, o suelos alcalinos, la concentración de humus en la superficie puede ser elevada, como comprobó Glinka en un suelo de Tobolsk, que dió el siguiente análisis:

HORIZONTE	Profundidad cm.	Contenido en humus %	Pérdida por calcinación %
A <sub>1</sub> .....	0-5	13,67	15,83
A <sub>2</sub> .....	12-14	8,91	10,24
B <sub>1</sub> .....	14-20	6,51	7,90
B <sub>2</sub> .....	40-50	1,14	3,87
C.....	85-95	0,73	3,50

Los suelos castaños lindan con las tierras negras, encontrándose en Rusia al Sur de éstas, y en los Estados Unidos al Oeste. Son de color pardo u oscuro y ricos en carbonatos, sin contener sodio en su complejo adsorbente. Según Glinka, contienen en el horizonte superficial del 3,5 al 4,5 por 100 de humus, cantidad que desciende muy rápidamente, encontrándose solamente un 0,94 por 100 a los 35 ó 40 centímetros de profundidad. En suelos de este tipo ha encontrado Sigmond (130), en Hungría, cantidades de humus más elevadas, como se ve en el siguiente cuadro:

HORIZONTE	Profundidad cm.	Contenido húmico %	CO <sub>2</sub> en carbonatos %
A <sub>1</sub> .....	0-22	4,83-5,96	0,46- 5,86
A <sub>2</sub> .....	40-80	2,59-5,42	2,11-10,89
A <sub>3</sub> .....	50-120	2,50-2,77	6,62- 7,10
C.....	150	0,54	16,78

En los suelos castaños no se encuentra horizonte B de acumulación. Las sales solubles son escasas y se encuentran localizadas en las capas más profundas.

IV. SUELO GRIS DESÉRTICO o «SEROSEM».—Estos suelos se originan en las condiciones de clima continental seco con veranos calurosos y sin lluvias, e inviernos fríos. Las temperaturas estivales elevadas y los vientos casi constantes, desecan considerablemente el suelo. La vegetación, escasa, suministra pocos residuos, que son descompuestos rápidamente, por lo cual el contenido en materia orgánica de estos suelos es muy bajo, del 1,5 al 0,2 por 100. El serosem se encuentra en Rusia al sur de los suelos castaños, con clima más

cálido y seco. A continuación reproducimos un análisis practicado por Glinka en un *serosem* típico:

PROFUNDIDAD cm.	Contenido húmico %	CO <sub>2</sub> en carbonatos %	Pérdida por calcinación %
			%
0-3	2	4,93	3,68
13-26	0,45	6,72	2,04
50-60	0,26	8,92	1,67
103-110	0,22	10,74	1,56
172-180	0,13	8,52	1,33

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL HUMUS EN LOS TIPOS DE SUELO.** — La composición química del humus en los distintos tipos de suelo y aun dentro de un mismo perfil en los distintos horizontes del mismo, presenta marcadas diferencias. Khainsky (71) encontró que una solución de carbonato sódico extrae solamente una pequeña porción del *humus* del suelo *chernosem*, una mayor proporción de los *podsoles* y casi la totalidad del humus contenido en los suelos castaños. Cuando los suelos tratados previamente por el carbonato sódico son sometidos a nueva extracción con soluciones de sosa, se obtiene una cantidad considerable de *humus* del suelo *chernosem*, menor cantidad del *podsol* y nada o casi nada del suelo castaño. Este fenómeno fué considerado como prueba de que en cada uno de estos suelos el humus se encontraba en distinto grado de descomposición, siendo el más descompuesto el de los suelos castaños, y el menos descompuestó, el del *chernosem*.

Remezov (119) realizó el análisis inmediato del humus en varios tipos de suelo, encontrando que en el *serosem* la materia orgánica carece de celulosa y hemicelulosas, predominando en ella los proteídos y siendo escasa la lignina, lo que explica la pequeña capacidad de cambio de bases de este suelo. En el caso de los suelos castaños, formados en condiciones de mayor humedad y clima más frío, falta la celulosa, pero contienen hemicelulosas; el complejo de la lignina es más abundante que los proteídos, en relación 40/24, teniendo estos suelos mayor capacidad de cambio de bases. En el *chernosem* los complejos coloidales orgánicos están coagulados por el calcio y el magnesio, impidiéndose su arrastre por las aguas y su descomposición por los microbios, por lo que se acumula en ellos hasta un 18 por 100 de ma-

teria orgánica; el complejo de la lignina es más abundante (del 40 al 54 por 100), existiendo un ligero aumento en proteídos (del 24 al 27 por 100) y un descenso en hemicelulosas, lo que explica la gran capacidad de cambio de bases de este suelo. Hacia el Norte, el *chernosem* se va degradando, con entrada del ión H en el complejo adsorbente, lo que aumenta la solubilidad de la materia orgánica y su arrastre por el agua, evolucionando gradualmente hacia el tipo *podsol*. En los suelos grises esteparios y forestales y, finalmente, en los *podsoles*, el complejo lignina va desapareciendo gradualmente y, en menor medida, los proteídos y grupos hemicelulósicos, con descenso en el contenido de bases adsorbidas.

Sobre este interesante tema de la composición química del humus en los diversos tipos de suelos, ha realizado Waksman experiencias que corroboran la conclusión de que el humus varía notablemente en su composición química (cuadro núm. 6) (144).

Asimismo puede apreciarse la distinta constitución química del humus en los diversos tipos de suelos estudiando en ellos la variación de la relación C/N (fig. 7).

#### CUADRO NÚM. 6

NATURALEZA QUÍMICA DEL HUMUS EN VARIOS SUELOS MINERALES  
(Waksman)

TIPO DE SUELO	Horizonte o profundidad cm.	pH	Humus total (Cx 1,724)	Nitrógeno en humus %	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL HUMUS				
					Fracciones solubles en etanol y alcohol %	Fracción soluble en agua %	Hidratos de carbono %	Proteídos %	Complejo de la lignina %
<i>Podsol</i> , Michigan...	A <sub>1</sub>	4,6	41,6	2,57	3,29	4	16,54	16,08	55,62
	A <sub>2</sub>	5,1	1,1	4,73	4,58	6,36	10,28	27,82	46,32
<i>Chernosem</i> , Man-nitoba.....	A	*	7,4	5,34	1,30	*	11,37	33,36	42,83
<i>Chernosem</i> , Texas.	A	6,9	2,29	5,68	2,03	2,36	13,88	35,50	35,81
Suelo castaño.....	0-15	6,8	1,93	5,23	3,14	2,58	11,97	32,70	39,95
<i>Serosem</i> , Arizona..	0-15	7,2	0,28	8,03	7,63	3,50	4,34	50,22	34,76

HUMUS DE LOS SUELOS FORESTALES Y BREZALES. — El suelo de los montes recibe anualmente una considerable cantidad de residuos vegetales en forma de acículas, hojas, frutos, polen, ramas y rami-

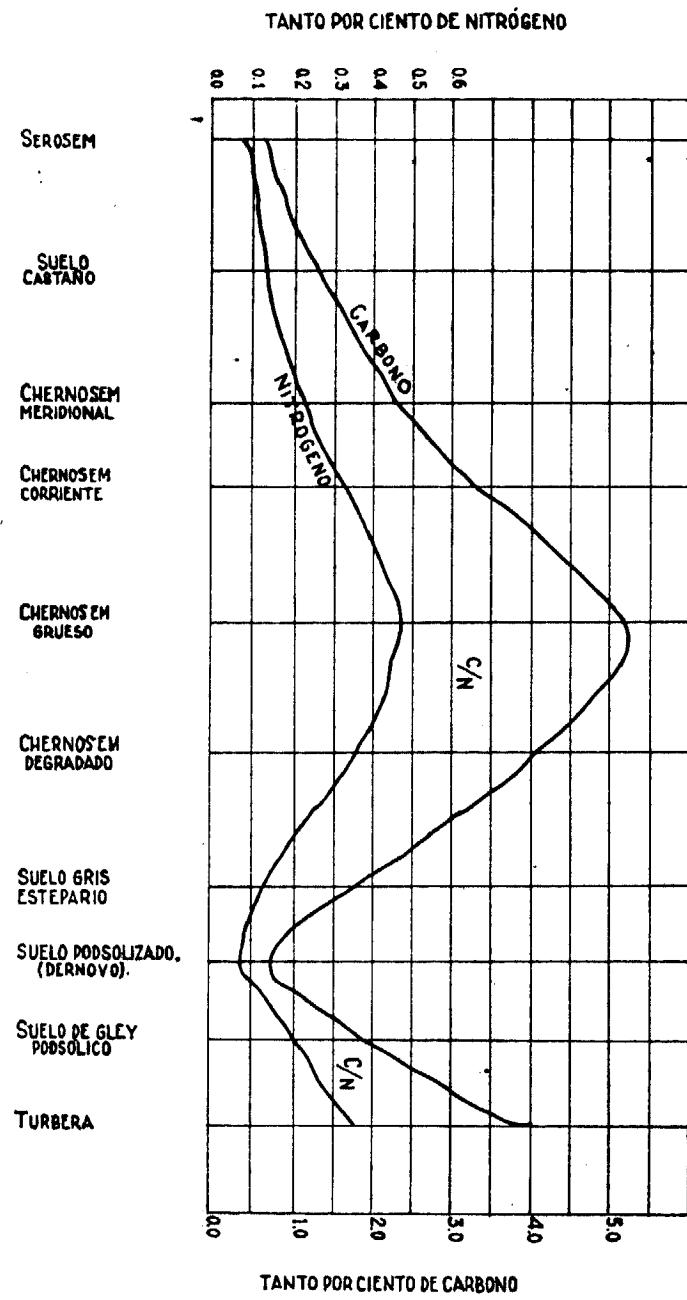


FIG. 7. — Representación esquemática de la variación de la relación C/N, en diferentes tipos de suelos de Rusia (Remezov.)

llas, que, con más o menos rapidez, terminan por descomponerse incorporándose al suelo. La vegetación superior y el clima, son dos de los factores que más directamente influyen sobre la rapidez del proceso de descomposición y sobre el tipo de humus producido, y como estos dos factores varían considerablemente de un lugar a otro de la tierra, los tipos de humus de los suelos forestales forzosamente han de presentar análoga variedad, lo que ha ocasionado una gran confusión en la nomenclatura de esta clase de humus, aumentada por el hecho de haberse pretendido otorgar carácter de casi universalidad a tipos establecidos por algunos investigadores basándose en características locales y, por tanto, de aplicación muy limitada.

En los suelos forestales pueden considerarse dos tipos fundamentales de humus que, con ligeras modificaciones, coinciden con los establecidos en 1878 por Müller (98) al estudiar los suelos forestales de Dinamarca: *Humus ácido* o *crudo, mor* (*Raw humus*, en inglés; *Rohhumus*, en alemán), caracterizado por su pobreza en bases, descomposición lenta y presencia de residuos vegetales, que conservan, más o menos, su estructura primitiva, y *humus menos ácido* o *elaborado, mull*, caracterizado por contener calcio reemplazable, por la rapidez de su descomposición y por presentar estructura granular y friable, en la que no se encuentran residuos vegetales en los que pueda apreciarse su primitiva estructura. El pH del humus ácido o *mor*, suele ser de 3,5 a 5, por lo general, mientras que el del elaborado o *mull* suele oscilar entre 4,5 y 6,5 en los suelos forestales.

En los suelos de *mull*, la capa superficial formada por el *barrujó*, o cubierta muerta de hojas y residuos procedente del arbolado, es delgada y floja, excediendo rara vez de la procedente de un año por establecerse un cierto equilibrio (115) entre la producción de cubierta muerta y la rapidez de descomposición del humus, mientras que en los suelos de *mor* se verifica una anormal y progresiva acumulación de cubierta muerta y humus, que en ocasiones puede formar un tapiz de espesor considerable.

El *humus elaborado* o *mull* está mezclado íntimamente con el suelo mineral, no observándose, en la mayoría de los casos, una transición brusca a este último; el horizonte, en contacto con la cubierta muerta, es más bien pobre en materia orgánica, que por lo regular no suele pasar en él del 10 por 100. Este tipo de suelos está habitado por grandes gusanos (*Lumbricus terrestris*, *L. rubellus*, *Allolobophora turgida*, etc.) y miriápodos, que desempeñan un papel importante en la mezcla de la materia orgánica con el suelo mineral,



y posee una vegetación superficial variada, citando Müller como plantas características de los suelos de *mull* de Dinamarca, *Asperula odorata*, *Anemone nemorosa*, *Mercurialis perennis*, *Milium effusum*, *Melica uniflora*, *Stellaria nemorum*, *Oxalis acetosella*, etc., no encontrándose musgos. También es característica del *mull* presentar gran contenido de bacterias activas en la descomposición, siendo menor el número de hongos (37).

Bornebusch (22) subdividió el *mull* en dos clases: *mull verdadero*, en el que el humus está íntimamente mezclado con el suelo mineral, no siendo apreciable la transición a éste, y *mull superficial*, en el que la mezcla no es tan íntima y la transición al suelo mineral es claramente perceptible. Posteriormente propuso, en unión de Heiberg (23), al Tercer Congreso Internacional de Ciencia del Suelo, de Oxford, la distinción de tres formas de *mull*:

*Mull grueso*: de estructura granular gruesa y materia orgánica íntimamente mezclada al suelo mineral, con un contenido de materia orgánica del 5 al 20 por 100.

*Mull fino*: con estructura granular más fina y contenido en materia orgánica elevado, por lo general superior al 50 por 100.

*Mull compacto*: de estructura compacta, densa y contenido en materia orgánica bajo, de ordinario inferior al 5 por 100.

En el *mor*, o *humus crudo*, la materia orgánica se descompone lentamente, acumulándose la procedente de varios años sobre la superficie del suelo, que en el horizonte superior, en contacto con el barrojo, llega a contener del 80 al 90 por 100 de materia orgánica prácticamente sin mezclar con el suelo mineral, por lo que la transición a este último se observa con toda claridad. Los grandes gusanos, característicos del *mull*, no se encuentran en este tipo de humus, que suele carecer de vegetación superficial, encontrándose en algunos casos, según Müller, *Trientalis europaea* asociada con *Aira flexuosa* y musgos.

De acuerdo con la clasificación del sueco Hesselman (62), que es la más generalmente aceptada, en el horizonte A<sub>0</sub> del perfil del *mor* se distinguen tres capas:

a) *Förrna* (*litter* de los norteamericanos; barrujo): capa superficial, constituida por la cubierta orgánica muerta, ligeramente descompuesta.

b) Capa F. *Förmultningsskiktet* (*duff* de los norteamericanos; *Vermoderungsschicht* de los alemanes): *capa de fermentación*, en la que los residuos orgánicos sufren activa descomposición, pero conservan todavía parte de su primitiva estructura; y

c) Capa H. *Humusämmeskillet* (*lejmold* de los norteamericanos, *Humusstoffschicht* de los alemanes): capa de humus en la que ya no puede reconocerse la estructura primitiva de los residuos vegetales.

En el sistema de clasificación de Bornebuch y Heiberg, ya citado, se reconocen tres clases de *mor*:

1.<sup>a</sup> *Mor granular*. — Con la capa H bien marcada, de estructura granular fina, con la parte inferior algo más compacta. Cuando está seco, se desmenuza fácilmente en polvo fino al oprimirlo entre los dedos.

2.<sup>a</sup> *Mor graso*. — Por lo general, con la capa F poco desarrollada. La capa H es gruesa, compacta, untuosa al tacto cuando húmeda, y dura y quebradiza cuando está seca.

3.<sup>a</sup> *Mor fibroso*. — Capa F bien desarrollada. Tanto la capa F, como la H, son de naturaleza fibrosa, no compacta, y en la capa H son perceptibles restos de la estructura del material vegetal.

En los subhorizontes A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub> u horizonte de lavado (pág. 41), en el horizonte B, de acumulación, y en el C, se encuentran otras clases de humus con distinta composición química, como se aprecia en el siguiente cuadro de Waksman:

#### CUADRO NÚM. 7

NATURALEZA QUÍMICA DEL HUMUS EN UN PÉRFIL DE SUELO FORESTAL, DE «MOR», EN KEENE, NEW HAMPSHIRE. (Waksman.)

HORIZONTE	pH	MATERIA ORGÁNICA EN % DEL MATERIAL SECO				NATURALEZA QUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN % DEL MATERIAL SECO TOTAL						
		Perdida por calcinación	C total	H total	C/H	Soluble en éter	Soluble en agua caliente	Soluble en alcohol	Hemiceluloses	Celulosa	Lignina	Proteínas
Barrujo.....	4.49	96	50,99	1,01	50,5	6,38	4,06	2,57	18,23	15,72	38,38	6,31
Capa F.....	4.23	82,04	43,63	1,60	27	4,86	6,73	4,16	11,94	8,24	44,24	10
Capa H.....	3.79	75,20	41,45	1,56	26,6	4,25	3,31	3,54	9,49	4,75	50,13	9,75
A <sub>1</sub> .....	3.96	18,95	10,36	0,42	24,6	3,21	1,88	2,25	8	»	»	14,18
A <sub>2</sub> (lavado).....	4	5,80	2,45	0,12	20,4	3,12	4,10	2,42	10,30	»	»	17,50
B <sub>1</sub> .....	4,24	11,75	4,74	0,24	19,8	1,54	2,38	1,08	8,70	»	»	17,94
B <sub>2</sub> .....	4,26	9,90	3,27	0,10	32,7	1	1,03	0,98	6,22	»	»	10,50

En el proceso de formación del humus en los suelos forestales distingue Falck (37) dos modos de descomposición de los residuos vegetales:

1.<sup>o</sup> *Corrosión*, en el que la celulosa y la lignina se descomponen por igual; y

2.<sup>o</sup> *Destrucción*, en el cual la celulosa es descompuesta casi totalmente, en tanto que la lignina no es atacada y se va acumulando.

La corrosión conduce a una descomposición de los residuos forestales, más o menos completa, siendo característica de los suelos de *mull*; por el contrario, en la destrucción se acumulan los complejos ricos en lignina, originándose los suelos de *mor*.

En un monte que se desarrolle normalmente debe existir un estado de equilibrio entre la descomposición del humus y la aportación de nuevos residuos procedentes de la masa forestal. Si el primer proceso se verifica con más lentitud que el segundo, el humus se acumula sobre la superficie del suelo, ocasionando un estado anormal que tiende a disminuir el crecimiento de la masa (26).

El suelo de los montes de especies resinosas contiene, por lo general, pocos hongos capaces de descomponer la lignina, por lo cual predomina en ellos el proceso de *destrucción*, originándose un humus muy resistente a la descomposición, en el que el nitrógeno, en forma nítrica o amoniacal, sólo se encuentra en cantidades muy reducidas. El suelo de los montes de frondosas, y aun el de masas mezcladas de frondosas y resinosas, contiene de ordinario una flora de hongos, basidiomicetos en su mayoría, capaces de descomponer la lignina; en estos suelos se verifica la *corrosión*, formándose el *mull*, de reacción menos ácida, que se descompone fácilmente, liberándose su nitrógeno en forma de nitratos.

Aaltonen (1 y 2) ha comprobado que existe un estrecho paralelismo entre la intensidad de la liberación del nitrógeno en forma nítrica y amoniacal durante la descomposición del humus y la productividad de los suelos forestales. El tipo de humus y, por tanto, su acidez, influyen sobre la rapidez de la liberación del nitrógeno en forma asimilable, como puede apreciarse en el siguiente cuadro de Aaltonen:

CUADRO NÚM. 8

LIBERACIÓN DE NITRÓGENO EN LA DESCOMPOSICIÓN DEL HUMUS  
DE DIVERSOS SUELOS FORESTALES. (Aaltonen.)

TIPO DE SUELO	pH del humus	Nitróge- no total del humus %	Miligramos de amoniaco liberados por 1 kilogramo de humus		Miligramos de nitratos formados por 1 kilogramo de humus		% del nitróge- no total mo- bilizado  Después dos meses incubación
			Al principio	Después dos meses incubación	Al principio	Después dos meses incubación	
Tipo <i>Calluna</i> .....	4,2	1,495	32	159	0,9	1,4	1,074
Tipo <i>Vaccinium</i> .....	4,6	1,666	55	200	1,3	1,3	1,207
Tipo <i>Myrtillus</i> .....	4,8	1,796	68	325	1,6	1,7	1,819
Tipo <i>Oxalis-myrtillus</i> .....	5,2	2,234	107	636	1,2	4,6	2,868
Tipo <i>Oxalis-majanthemum</i> ....	5,0	2,795	135	698	11,4	568,1	4,425

De aquí se desprende que tiene mayor valor como índice del estado del suelo forestal, en relación con el crecimiento de la masa que sustenta, la rapidez con que en el mismo se descompone el humus que la abundancia de éste. Dicha rapidez de descomposición del humus puede determinarse por la medición del CO<sub>2</sub> desprendido durante un cierto tiempo (proceso respiratorio del suelo) o bien mediante la determinación del nitrógeno liberado en forma amoniacal y nítrica (capacidad de nitrificación del suelo).

Stoklasa y Ernest (135) comprobaron que la cantidad de anhídrido carbónico desprendido del suelo durante un cierto período, en condiciones determinadas de humedad y temperatura, puede servir como índice seguro y exacto de la intensidad de descomposición del humus, y Meinecke (92), basándose en esta medición del CO<sub>2</sub> desprendido del suelo, propuso un sistema para distinguir los tipos de humus forestales. Lundegardh (89) comprobó, asimismo, que los suelos de *mull* respiran mucho más intensamente que los de *mor*, habiendo medido Melin (93) en suelos de este último tipo que el barrojo es el que se descompone más rápidamente, seguido por el humus de la capa F y con bastante diferencia con el de la capa H (fig. 8).

La llamada capacidad de nitrificación del suelo, o sea la intensidad con que el nitrógeno del humus es liberado en forma nítrica y amoniacal, suministra igualmente un método valioso para juzgar sobre la marcha de la descomposición del humus y, por tanto, sobre

el grado de fertilidad del suelo forestal. A estos efectos, las curvas indicadoras del número de bacterias del suelo, del contenido en nitratos y del desprendimiento de  $\text{CO}_2$ , son lo suficientemente semejantes para probar la estrecha correlación entre estos fenómenos (124); el aumento del número de bacterias, va seguido de la elevación del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera del suelo, y más tarde, del aumento en el contenido

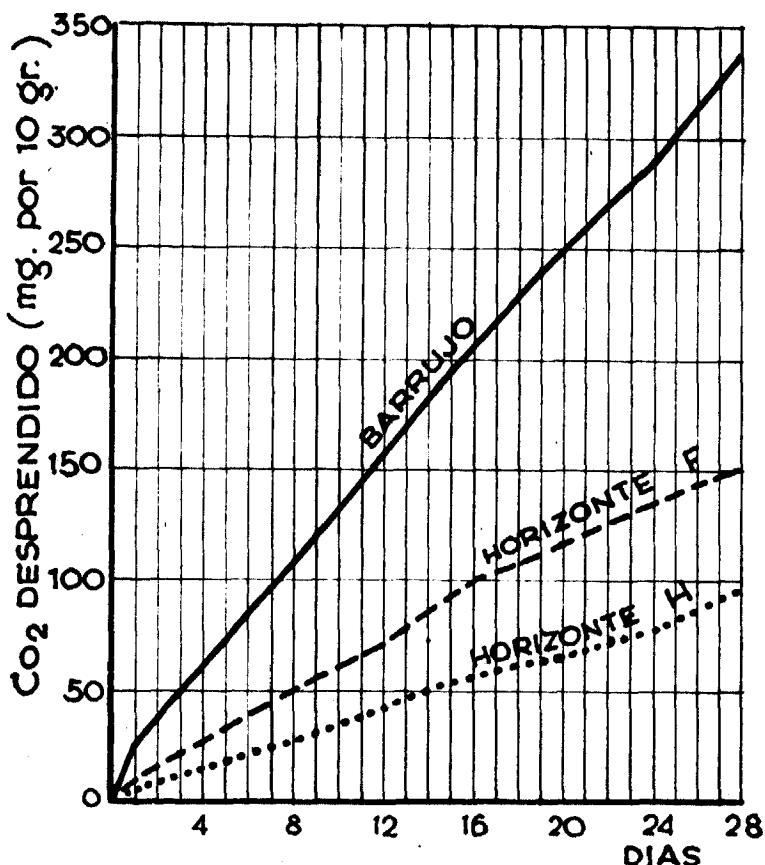


FIG. 8. — Actividad de los microorganismos en un suelo de monte de *Pinus strobus*, medida por el desprendimiento de  $\text{CO}_2$  (Melin)

de nitratos, lo que prueba que la descomposición de la materia orgánica del suelo es función de la actividad bacteriana. Ashby, en Rothamsted (Inglaterra) (9), y Kellerman y Allen, en Nevada (Estados Unidos) (68), comprobaron que existía una correlación definida entre

el poder de nitrificación del suelo y su productividad, como muestra el siguiente cuadro:

### CUADRO NÚM. 9

#### RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD DE NITRIFICACIÓN DEL SUELO Y SU PRODUCTIVIDAD

PRODUCTIVIDAD DEL SUELO	CAPACIDAD DE NITRIFICACIÓN
<b>Ashby (Rothamsted):</b>	
Muy productivo.....	93
Intermedio.....	38
Poco productivo.....	26
<b>Kellerman y Allen (Nevada):</b>	
Muy productivo.....	54
Productivo. (Lote 40).....	20
Productivo. (Lote 190).....	36
Productivo. (Lote 290).....	30
Pobre. (Lote 10).....	4
Pobre. (Lote 30).....	3
Pobre. (Lote 180).....	5

En los suelos de *null* la descomposición más activa, medida por la movilización de nitrógeno, se verifica precisamente en la capa de hojas viejas que se encuentra inmediatamente debajo de las recién caídas; a partir de aquí, la liberación de nitrógeno disminuye rápidamente con la profundidad (cuadro núm. 10). En los suelos de *null* el amoníaco producido se transforma rápidamente en nitratos, mientras que en los suelos de *mor* el nitrógeno movilizado queda en su mayor parte bajo forma de amoníaco.

## CUADRO NÚM. 10

## DESCOMPOSICIÓN DEL HUMUS EN VARIOS PERFILES DE SUELOS FORESTALES. (Bornebusch.)

NATURALEZA Y CAPA DEL SUELO	ESPEJOR cm.	REACCIÓN pH	Materia orgánica total	Nitrógeno total	NITRÓGENO LIBERADO POR 1 KG. DE SUELLO SECO, DU- RANTE SEIS SEMANAS DE INCUBACIÓN		
			% de suelo seco	% de materia orgánica	NH <sub>3</sub> mg. N.	NO <sub>3</sub> mg. N.	Total mg. N.
<b>Mull de haya:</b>							
Hojas recién caídas.....	1,5	5,9	87,6	1,47	Tr.	2,2	2,2
Capa de hojas viejas.....	0,5	6,1	58,7	1,70	84	1.200	1.284
Restos de gusanos.....	*	5,8	22,7	1,91	8	264	272
Capa superior de mull.....	0,5	5,4	14,3	2,07	4	48	52
Capa inferior de mull.....	5-15	5,2	7,1	2,14	2	7,5	9,5
<b>Mor de haya:</b>							
Hojas recién caídas.....	2	5,9	92,1	1,45	*	3	3
Capa de hojas viejas.....	2	5,6	89,9	1,97	252	20	272
Capa superior de mor.....	0-4	4,3	84,4	2,21	388	Tr.	388
Capa media de mor.....	4-7	3,7	64,1	2,08	95	Tr.	95
Capa inferior de mor.....	7-9	3,6	69,2	2	32	*	32
Arena lavada.....	15	3,8	3	2	*	*	*
Alios blando.....	30	3,9	4	2	*	*	*
<b>Mor de abeto:</b>							
Capa de musgo y acículas.....	4	4,3	87,5	1,91	462	7,5	469,5
Capa superior de mor.....	0-5	3,6	86,3	1,87	115	0,8	115,8
Capa media de mor.....	5-8	3,5	77,8	1,69	32	*	32
Capa inferior de mor.....	8-10	3,5	52-7	2,16	21	*	21
Arena lavada.....	20	3,6	2	2	*	*	*
Alios blando.....	30	3,7	6,1	1,83	2	*	2

Las transformaciones del nitrógeno en los suelos dependen de una serie de factores, entre los que Glomme (48) incluye los siguientes:

1.<sup>o</sup> Reacción del humus: cuando el pH del humus oscila entre 3,5 y 5, el amoníaco es la principal forma de nitrógeno mineralizado. Por debajo de pH = 3,9 no se forman nitratos, que sólo aparecen para un pH = 4,0 ó superior (fig. 9).

2.<sup>o</sup> Naturaleza y acumulación de la materia orgánica: la formación

de amoníaco es independiente de la acumulación de humus, mientras que los nitratos se forman en muy pequeñas cantidades cuando el suelo contiene más de un 70 por 100 de materia orgánica. El humus pobre en nitrógeno se descompone liberando muy poco nitrógeno en forma asimilable y solamente después de una considerable descom-

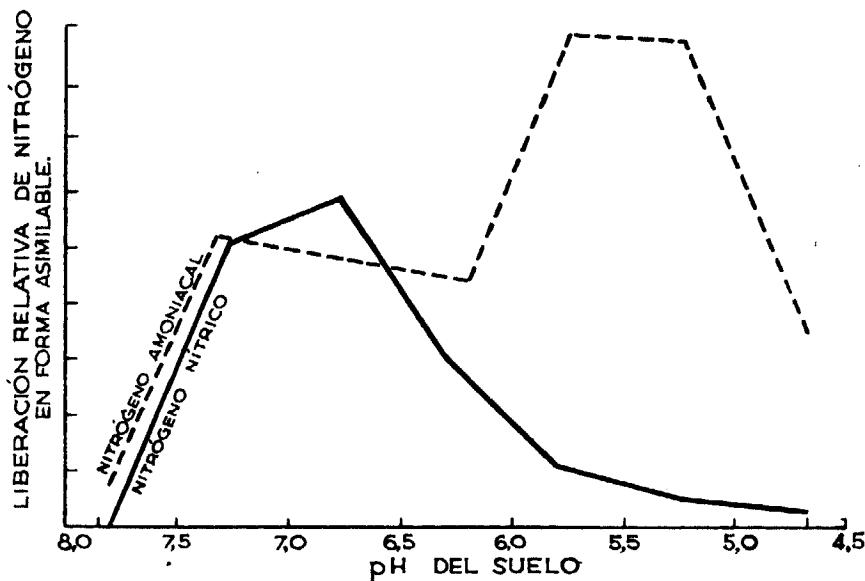


FIG. 9. — Influencia de la concentración de iones de hidrógeno sobre la liberación de nitrógeno amoniácal y nítrico en un suelo forestal (Aaltonen).

posición empieza a ser liberado el nitrógeno en forma amoniácal, que luego pasa a nítrica.

3.<sup>º</sup> La naturaleza del suelo mineral, especialmente sus propiedades físicas y químicas.

4.<sup>º</sup> La topografía del terreno.

5.<sup>º</sup> La abundancia de cal y sustancias minerales.

6.<sup>º</sup> La naturaleza específica de la vegetación.

Para acelerar la descomposición de la materia orgánica, corriendo la acumulación excesiva de humus que puede acarrear la disminución del crecimiento de la masa, pueden utilizarse aquellos procedimientos que aumentan la aireación y la elevación de temperatura del suelo o que modifiquen su reacción (83). Entre los primeros se encuentran las labores superficiales del terreno y el aclarado de la

masa; para disminuir la acidez se emplea el encalado, que ejerce una acción beneficiosa múltiple sobre los suelos ácidos. Aumenta la rapidez de descomposición de la materia orgánica, como han comprobado, entre otros, König y Hasenbäumer (75), siguiendo los resultados de la acción del CaCO<sub>3</sub>, sobre la descomposición del humus en un suelo arcilloso; en esta experiencia se midieron las cantidades de CO<sub>2</sub> desprendidas por cuatro kilogramos de tierra durante veinticuatro horas, con el siguiente resultado:

Porcentaje de CaCO <sub>3</sub> agregado:	0,04	0,10	0,20	0,40
Miligramos de CO <sub>2</sub> por día:	181,3	223,6	308,4	416,4

La cal floacula la arcilla, confiriéndola por ello una textura física mejor. Protege al magnesio y al potasio contra las pérdidas por lavado. Actúa sobre la reacción del suelo, mejorando las condiciones del humus como sustrato para el desarrollo de las actividades microbianas, modifica la flora microbiana que lleva a cabo la descomposición del humus y, finalmente, actúa sobre el equilibrio de aniones y cationes en el suelo.

El suelo de los brezales se caracteriza por poseer formaciones de *mor* procedentes de una vegetación de *Calluna*, asociada a *Erica*, *Nardus*, *Vaccinium*, *Lycopodium*, *Polytricum* y líquenes. En su mayoría, son suelos de tipo podsólico, en los que Weis (155) pudo comprobar que los componentes coloidales orgánicos más ricos en nitrógeno descienden con mayor rapidez, por lo cual el contenido en nitrógeno de la materia orgánica aumenta con la profundidad, como se ve en el siguiente cuadro, que indica, además, el contenido en humus de los diversos horizontes del perfil.

CUADRO NÚM. II

ABUNDANCIA Y NATURALEZA DEL HUMUS EN UN PERFIL DE PODSOL  
DE UN BREZAL. (Weis.)

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE	Espesor del horizonte cm.	pH	Contenido	Contenido	Nitrógeno en humus %
				en humus %	en nitrógeno %	
A <sub>1</sub>	Capa de <i>mor</i> .....	8,9	3,6	27,03	0,49	1,81
A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>	Transición a arena lavada.....	3,8	»	»	»	»
A <sub>2</sub>	Arena lavada.....	7	3,9	1,78	0,03	1,68
A <sub>3</sub>	Alios húmico.....	7,4	4,1	12,65	0,29	2,29
B <sub>1</sub>	Alios de hierro.....	6,2	4,5	2,65	0,06	2,30
B <sub>2</sub>	Paso del alios de hierro a la roca madre.....	34,4	»	»	»	»
C	La roca madre empieza a una profundidad de.....	67,8	4,8	0,24	»	2,08

Como complemento al estudio del humus en los suelos forestales, reproducimos a continuación unas fotografías y descripciones de perfiles de tipos de suelos forestales de Dinamarca, tomadas de la obra de C. H. Bornebusch «The fauna of forest soil», que puntualizan con claridad las características de los suelos de «mull» y de «mor».

## LOCALIDAD 15: MONTE DE HAYA

Suelo de «mull». «*Anemone-Asperula*».

Vigoroso rodal de hayas de ochenta años, entremezcladas con hermosos y altos alerces (*Larix decidua* Mill.), de ciento veinticinco años, situado en Geels Skov.

La masa fué aclarada en 1924-25 y 1926-27, y después de la segunda clara presentaba las siguientes características por hectárea:

ESPECIE	EDAD	ALTURA m.	Diámetro medio cm.	Número de pies	Área basi- métrica m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>
Haya.....	80	26,3	30	260	20,1	314
Alerce.....	125	29,4	56	38	9,8	153

En las claras se trajeron 61 metros cúbicos por hectárea, no cortándose alerces. El crecimiento anual durante los años 1912-27 fué de 14,6 metros cúbicos por hectárea, de los que corresponden al alerce 2,6 metros cúbicos.

La flora superficial estaba formada por *Anemone nemorosa* y *Asperula odorata*, como especies dominantes, con abundancia de *Stellaria holostea* y algunos ejemplares de *Viola odorata*.

Bajo una capa suelta de hojas de haya, en su mayoría del año anterior, mezcladas con menor cantidad de acículas de alerce, un *mull* desmenuzado y friable cubierto de una capa suelta de despojos de gusanos; la capa superior del suelo, friable, rica en *mull*, porosa por la acción de los gusanos y atravesada por numerosas galerías de topo.

El corte del terreno presentaba el siguiente perfil:

- 0-2 cms. — Capa negra, arenosa, de *mull* mezclado con suelo mineral.
- 2-8 cms. — Suelo superior oscuro, muy friable, rico en *mull*.
- 8-60 cms. — Suelo superior pardo, friable, con *mull*.
- 60-100 cms. — Parduzco, con manchas de arcilla arenosa, grisácea; más bien friable y con pocas piedras.
- 100-200 cms. — Arcilla arenosa, parduzca, con algo de sílice y muchos terrones y gránulos de caliza.





Localidad 15. — Haya. Mull. *Anemone-Asperula*.  
*Asperula odorata*, *Anemone nemorosa*, *Oxalis acetosella*, *Stellaria holostea* y *Viola odorata*.

pH = 5,8

pH = 5,4

pH = 5,2

pH = 4,6

cm

5

10

15

20

25

30



Localidad 15.

Perfil del terreno hasta 30 centímetros de profundidad.



A partir de 110 cms. de profundidad, el suelo producía franca efervescencia con el CIH, señal de abundancia de carbonato cálcico. No existe capa de aguas freáticas. Las raíces se desarrollan abundantemente hasta los 60 cms. de profundidad, encontrándose pocas raíces, por debajo de los 150 cms., introducidas en el subsuelo calizo.

El análisis mecánico del suelo a las profundidades de 90, 140 y 200 cms. dió el siguiente resultado:

Profundidad cm.	Grava 20 - 2 mm. %	Arena gruesa 2 - ,2 mm. %	Arena fina 0,2 - 0,02 mm. %	Limo 0,02 - 0,002 mm. %	Arcilla < 0,002 mm. %
	%	%	%	%	%
90	1,6	25,6	42,5	14,6	17,3
140	9,3	26,9	40,7	19,8	12,6
200	5,5	23,9	37,4	14,8	7,3

## LOCALIDAD 9: MONTE DE HAYA

### Suelo de «mull». «*Oxalis*».

La mayor masa de hayas en Grib Skov se encuentra sobre arena o grava, en su mayoría arcillosa; el crecimiento es lento. Falta la cubierta de *Anemone* y *Asperula*, característica de los buenos hayedos daneses, encontrándose escasa vegetación de *Oxalis acetosella*. El suelo es de *mull*, pero la nitrificación no es completa, como en el *mull* de haya bueno, encontrándose considerable cantidad de amoniaco. Las capas inferiores son a menudo compactas, mostrando algunas veces señales de podsolización incipiente, debidas a que el suelo estuvo cubierto de *mor* anteriormente. En 1927, al hacerse el inventario de la masa, que tenía setenta y siete años y estaba recién aclarada, presentaba las siguientes características, por hectárea:

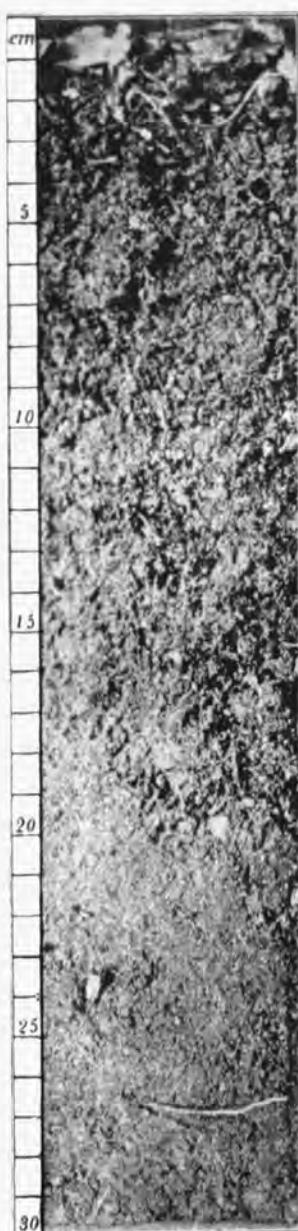
Número de pies, 500; altura media, 20,8 metros; diámetro medio, 24,8 cms.; área basimétrica, 24,7 metros cuadrados, y volumen madurable, 285 metros cúbicos. El crecimiento anual en el período 1910-1927 fué de 11,4 metros cúbicos por hectárea.

Una gruesa capa de hojas, con escasa vegetación de *Oxalis*, cubría la negra y delgada capa de *mull*, algo afieltrada. El corte del terreno presentaba el siguiente perfil:

- 0-10 cms. — Suelo gris-oscuro de *mull*, friable y suelto.
- 10-38 cms. — Suelo arenoso, de color pardo-amarillo; la parte superior, color café, y la inferior, más ocre, firme y compacto.
- 38-65 cms. — Arena gris-amarillenta, muy pedregosa y compacta, aproximándose a alias arcilloso.
- 65-90 cms. — Arena arcillosa, dura, muy pedregosa, gris-amarillenta, jaspeada o veteada.
- 90-130 cms. — Arena arcillosa, muy pedregosa.
- 130-145 cms. — Arcilla arenosa, muy pedregosa.
- 145-165 cms. — Arena arcillosa, muy pedregosa.
- 165-200 cms. — Arcilla arenosa, muy pedregosa.

Sobre el terreno abundan piedras y bloques de granito. No se encontró carbonato cálcico. Las raíces se desarrollaban vigorosas hasta los 45 cms., por debajo de esta profundidad y hasta los 100 cms. eran ya muy escasas. A una profundidad de 170 cms. brotaba algo de agua,





pH = 4.1

pH = 3.9

pH = 4.3

Localidad 9.  
Perfil del terreno hasta 30 centímetros de profundidad.



Localidad 9. — Haya, *Mull.* *Oxalis*,  
*Oxalis acetosella*.



debido sin duda a un período de lluvias precedente al estudio, y sin que pudiera considerarse como agua freática propiamente tal.

El análisis mecánico del suelo, a las profundidades de 50 centímetros, 100 cms. y 200 cms., dió el siguiente resultado:

Profundidad cm.	Grava 20 - 2 mm. %	Arena gruesa 2 - 0,2 mm. %	Arena fina 0,2 - 0,02 mm. %	Limo 0,02 - 0,002 mm. %	Arcilla 0,002 mm. %
50	6,3	54	39,8	4,7	1,5
100	14,9	40,3	40,2	13,2	6,3
200	4,4	32,5	37,3	18,1	12,1

## LOCALIDAD 4: MONTE DE HAYA

*Suelo de «mor». Sin flora.*

Esta masa, situada al norte de Rude Skov, es el mayor residuo de las antiguas masas de haya con humus *crudo*. Edad, ciento cuarenta años; porte, mediano; se encuentran algunos árboles rectos, pero la mayoría son tortuosos y varios bifurcados casi desde el suelo. Diez años antes fueron sometidos a una clara intensa. En el lugar donde se hizo el estudio, la altura media era de 26,4 metros, crecimiento inferior a su edad, y comprendido entre las calidades III y IV de Schwappach. El número de pies por hectárea era de 207, y el área basimétrica, de 30,5 metros cuadrados; el diámetro medio, de 42,8 centímetros, y el volumen por hectárea, con un coeficiente mórfico de 0,60, dió 476 metros cúbicos. La masa no había alcanzado la espesura normal después de la clara.

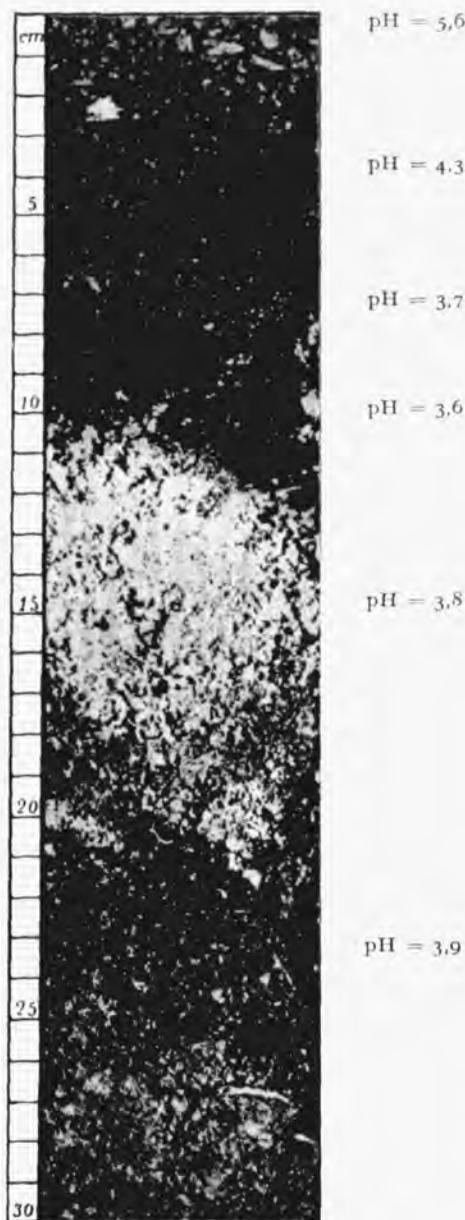
Debajo de una espesa capa de barrujo — 2 cms. del último otoño y otros 2 cms. de hojas más viejas — se encontraba un grueso tapiz de *mor* de 10 cms. de espesor, pardo en la superficie, suelto y húmedo, lleno de raíces de haya y con gran cantidad de humus *crudo*, arenoso y granular. Más abajo el *mor* era más compacto, y los dos últimos centímetros constituyan una masa amorfa, densa y negruzca, de turba. El corte del terreno mostraba el siguiente perfil:

- 0-10 cms. — *Mor.*
- 10-20 cms. — Arena lavada, ligera, gris-rojiza.
- 20-25 cms. — Alios blando, color café oscuro, rico en humus.
- 25-35 cms. — Alios blando, pardo rojizo.
- 35-50 cms. — Suelo arenoso, color ocre claro.
- 50-100 cms. — Arena arcillosa, gris-claro; esta capa, que contiene pequeñas piedras, parece alios arcilloso, pero es más blanda que éste.
- 100-200 cms. — Arcilla arenosa, parcialmente ocre, con algunas piedras pequeñas, principalmente de pedernal, y otras mayores de granito.





Localidad 4. — Haya. Mor. Sin flora



Localidad 4.

Perfil del terreno hasta 30 centímetros de profundidad.



Las raíces abundan en el *mor* y son numerosas hasta una profundidad de 40-50 cms.; algunas llegan hasta 130 cms.; no se encuentra carbonato de cal ni existe capa de aguas freáticas.

El análisis mecánico del suelo a las profundidades de 90 cms. y 200 cms. dió el siguiente resultado:

Profundidad cm.	Grava 20 - 2 mm. %	Arena gruesa 2 - 0,2 mm. %	Arena fina 0,2 - 0,02 mm. %	Limo 0,02 - 0,002 mm. %	Arcilla < 0,002 mm. %
90	9,5	37,3	47,6	10,8	4,3
200	6,3	22,3	54,8	13,5	9,4

## LOCALIDAD I: MONTE DE ABETO

### Suelo de «mull». *Oxalis*.

El estudio se ha efectuado en una masa de abetos de setenta y cinco años de edad, de la Sección 130 de Rude Skov, con árboles hermosos, de grandes copas y abundancia de hojas con fustes bien conformados, habiéndose mantenido una relación de espaciamiento adecuada, mediante claras frecuentes. En la primavera de 1928, un año después de la última clara, existían 625 pies por hectárea, con una área basimétrica normal de 43 metros cuadrados y una altura media de 26,8 metros. El volumen maderable por hectárea era de 634 metros cúbicos, para un coeficiente mórfito de 0,55. El diámetro medio era de 28,6 cms., alcanzando los mayores troncos 0,50 cms. de diámetro normal. Se trata de un rodal muy productivo, cuya calidad está comprendida entre las clases I y II de Schwappach.

El suelo es de *mull*, cubierto tenuemente por *Oxalis acetosella*; en distintos lugares abunda también el *Astrophyllum*, musgo que se ha extendido considerablemente durante los dos años que comprendieron las experiencias. En los límites del rodal se encuentran fram-buesas entre los abetos, cambiando la flora hacia la propia de los tipos de suelos ricos en nitratos.

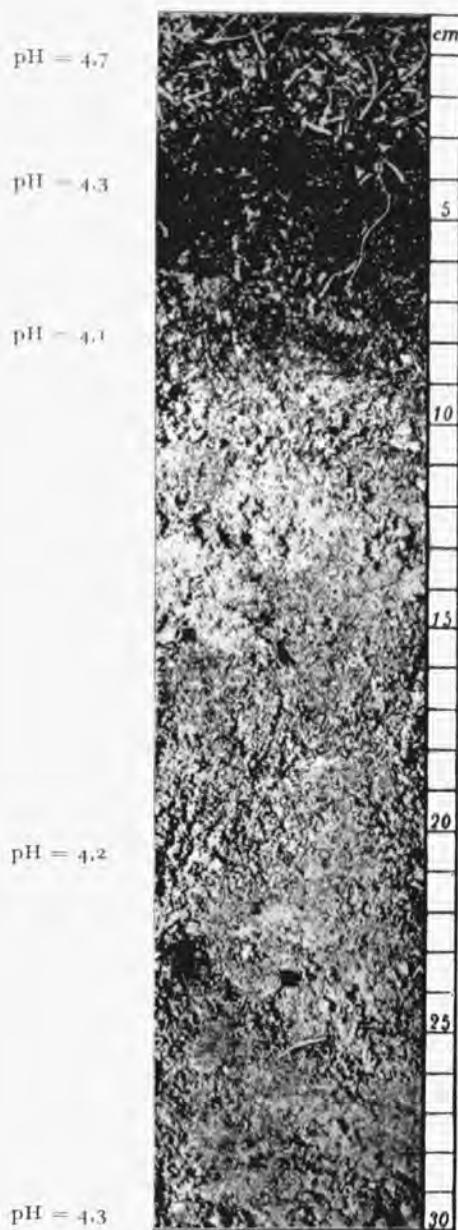
El suelo está cubierto por una capa suelta de acículas de 1 a 2 centímetros de espesor, debajo de la que hay 2-3 cms. de *mull* granular, muy fino, no muy mezclado con el suelo mineral. El corte del terreno presentaba el siguiente perfil:

- 0-3 cms. — Capa de *mull* suelto, desmenuzado, muy finamente granular, conteniendo poco suelo mineral mezclado.
- 3-15 cms. — Suelo pardo oscuro, rico en humus, friable, pero algo compacto.
- 15-28 cms. — Suelo arenoso de color café a pardo claro, friable, pero compacto, rico en humus.
- 28-40 cms. — Suelo arenoso, pardo claro, friable, pero compacto.
- 40-60 cms. — Suelo arenoso, ocre, compacto y más bien fuerte.
- 60-75 cms. — Arena fina, clara, grisácea, compacta, más bien fuerte (como alias arcilloso), pero sin piedras.
- 75-200 cms. — Suelo arcilloso, jaspeado, más bien fuerte, con pocas piedras y grava.





Localidad 1. — Abeto. *Mull. Oxalis*  
*Oxalis acetosella*



Localidad 1.

Perfil del terreno hasta 30 centímetros de profundidad.



Con las excepciones señaladas, el suelo estaba casi sin piedras. Carece de CaCO<sub>3</sub>. Las raíces abundan hasta los 40 cms., llegando muy pocas a los 75 cms. de profundidad. No hay aguas freáticas.

El análisis mecánico, a las profundidades de 65 cms., 100 cms. y 200 cms., dió el siguiente resultado:

Profundidad cm.	Grava 20 - 2 mm. %	Arena gruesa 2 - 0,2 mm. %	Arena fina 0,2 - 0,02 mm. %	Limo 0,02 - 0,002 mm. %	Arcilla < 0,002 mm. %
65	0,4	21,7	68,5	6,9	2,9
100	3,8	13,3	32,4	28,3	26
200	2,7	15,9	46,4	20,1	17,6

## LOCALIDAD 6: MONTE DE ABETO

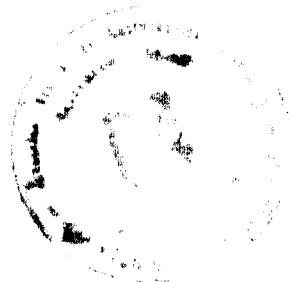
### Suelo de «Mor». Musgos.

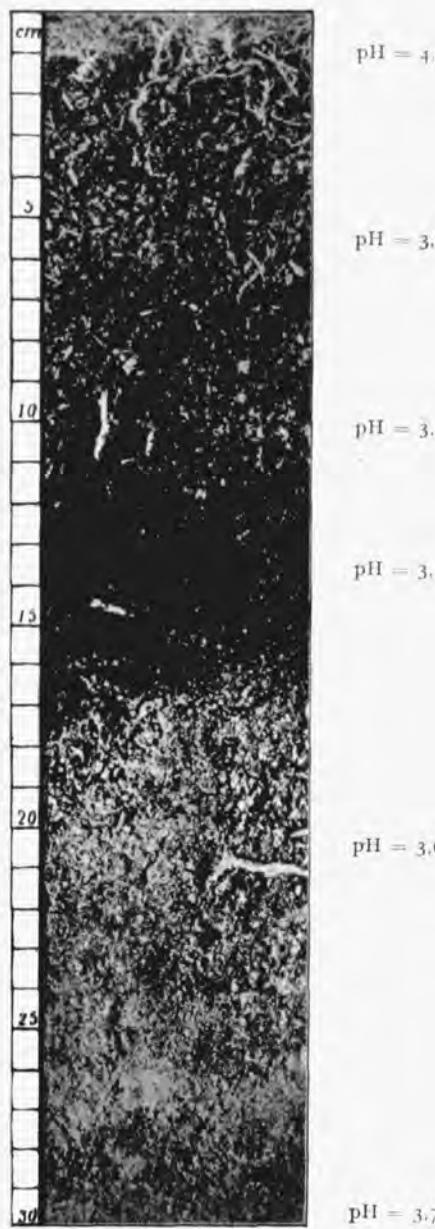
La parcela de experimentación BG., en Grib Skov, del Servicio de Experimentación Forestal, es una magnífica masa de abetos de setenta y cinco años de edad, con una altura media de 25,4 metros, algo mayor que la de la calidad II de Schwappach. La masa ha sido cuidadosamente aclarada. Los fustes son hermosos y de excelente forma, con copas densas y bien desarrolladas. Tiene 409 pies por hectárea, con un diámetro medio de 30,1 cms. Despues de la última clara, en 1928, el área basimétrica era de 29,2 metros cuadrados, y el volumen de la masa, de 388 metros cúbicos por hectárea. En la clara se extrajeron 119 pies, con 93 metros cúbicos de volumen. El crecimiento anual en el período 1893-1928 fué de 17,8 metros cúbicos por hectárea.

El suelo está cubierto por un denso tapiz de musgos, formado principalmente por *Dicranum scoparium*, juntamente con *Hylocomium proliferum* e *Hyloc. parietinum*. Hay poco repoblado de abeto y en algunas partes se ve *Oxalis acetosella*. El terreno, bajo una capa de musgos de 4 a 6 cms. mezclado con acículas sueltas, presentaba el siguiente perfil:

- 0-5 cms. — Capa parda, muy suelta, de *mor* parcialmente descompuesto.
- 5-8 cms. — *Humus crudo*, pardo, semejante al anterior, medianamente friable, pero algo más compacto.
- 8-10 cms. — *Mor* compacto, pardo oscuro.
- 10-17 cms. — Arena negra, lavada, rica en humus.
- 17-34 cms. — Arena lavada, gris clara con tinte rojizo.
- 34-40 cms. — Alios blando, negro, rico en humus.
- 40-50 cms. — Alios blando, pardo rojizo.
- 50-60 cms. — Arena ocre claro.
- 60-110 cms. — Arena fina, gris amarillento.
- 110-200 cms. — Arenilla gris, con tanta agua freática que remueve la arena en el hoyo.

Se encontraron algunos bloques de granito grandes, de 30 a 50 centímetros, en la parte superior de la arena movediza. No se encontró carbonato cálcico. El agua freática se encontró pronto, llenando la zanja hasta 85 cms. de la superficie del suelo.





Localidad 6.  
Perfil del terreno hasta 30 centímetros de profundidad.



Localidad 6. — Abeto. Mor. Cubierta de musgos  
*Hylocomium proliferum*, *H. triquetrum*, *H. parietinum*





Las raíces de abeto abundan en el *mor* y son numerosas en el suelo hasta los 55 cms.; bastantes raíces delgadas llegan hasta los 140 centímetros y, probablemente, a mayor profundidad.

El análisis mecánico de muestras tomadas a profundidades de 80 cms. y 140 cms. dió el siguiente resultado:

Profundidad cm.	Grava 20 - 2 mm. %	Arena gruesa 2 - 0,2 mm. %	Arena fina 0,2 - 0,02 mm. %	Limo 0,02 - 0,002 mm. %	Arcilla < 0,002 mm. %
80	1,6	39,2	57,2	2,4	1,2
140	1,1	26,2	67,4	4,5	1,9

