

4

LA CUBIERTA FORESTAL

La cubierta forestal es sin duda la característica más distintiva de los suelos forestales y contribuye considerablemente a las propiedades únicas de ellos. El término de *cubierta forestal* se utiliza por lo general para designar a toda la materia orgánica, entre ella la hojarasca y las capas de materiales orgánicos en descomposición que descansan sobre la superficie del suelo mineral. Estas capas de materia orgánica y su microflora característica, así como su fauna, constituyen la fase verdaderamente dinámica del ambiente forestal, y representan el criterio más importante para distinguir los suelos forestales de los agrícolas (cultivados).

La cubierta forestal constituye la zona donde vastas cantidades de restos de vegetales y animales, así como de "litter" u hojarasca del bosque, se desintegran por encima de la superficie del suelo mineral (figura 4.1). Gran parte de estos restos vegetales, además de tejidos animales y productos de excreción, se mezclan gradualmente con el suelo mineral y, junto con las partes subterráneas de la planta, forman la fracción orgánica del suelo, incluyendo las células de los microorganismos muertos, sirve como fuente de carbono para que la utilicen las siguientes generaciones de organismos. La cubierta forestal no es sólo una fuente de alimentación, sino que constituye el hábitat para muchos tipos de microflora y fauna; además, las continuas adiciones de "litter" a la cubierta constituyen un fondo revolvente de nutrientes, sobre todo de nitrógeno, fósforo y azufre, para las plantas superiores. La eliminación de la hojarasca forestal como lecho para los animales de las granjas en Alemania, suscitó el interés sobre la degradación del terreno y fue motivo para el trabajo clásico de Ebermayer (1876) sobre las propiedades de la producción de "litter" u hojarasca. Por otra parte, las capas de hojarasca

en los bosques aislan físicamente las superficies (de temperaturas y humedades extremas), además de ofrecer una protección mecánica contra el impacto de la lluvia y la erosión, y para aumentar la infiltración de agua (Woodbridge, 1970). Los silvicultores, así como los microbiólogos edafólogos, generalmente utilizan el término de humus forestal de manera un tanto amplia para nombrar cualquier porción orgánica del perfil del suelo, pero desde hace mucho tiempo se sabe que el humus es diferente debajo de cada uno de los distintos tipos de cubierta forestal y, tal vez, debajo de los mismos bosques que crecen sobre diferentes tipos de suelos (Wollum, 1973).

SISTEMAS DE CLASIFICACION

Existe un gran desacuerdo entre los edafólogos en cuanto a los sistemas de clasificación de las capas de materiales orgánicos en los suelos forestales. El término de cubierta forestal alude de manera general a todos los materiales orgánicos que descansan sobre la porción mineral del suelo, pero que no se hallan mezclados con ella; en tanto que la "capa de humus" se define como la capa superficial del suelo que se halla debajo del "litter" no desintegrado, pero no lo incluye. De manera específica la capa de humus abarca los restos orgánicos en descomposición que se hallan debajo de la capa de "litter", así como el horizonte A₁ del suelo, pero no otros horizontes más profundos que contengan una mezcla orgánica y mineral, como es el B₂h. A riesgo de confundir todavía más la terminología, tanto la capa de cubierta forestal como la capa de humus se describen en el presente capítulo bajo el título general de "cubierta forestal".

Estratificación en la cubierta forestal

Los científicos de los suelos forestales describen por lo general tres capas de horizontes, o estratos, de la cubierta forestal, aunque no aparecen en todos los suelos (Hesselman, 1926), que son:

L Capa de "litter", que consta de restos muertos no alterados de plantas y animales. Tiene que reconocer que si bien el "litter" no está esencialmente alterado, se halla en cierta etapa de descomposición a partir del momento en que llega al suelo. Aunque una de las primeras definiciones de "humus" (Waksman, 1936) afirmaba que era "todos los residuos de plantas o animales que caen al suelo y sufren descomposición" y por lo tanto incluiría al "litter" como parte del humus del suelo, la capa de "litter" se considera parte de la cubierta forestal, pero por lo general no forma parte de los "estratos de humus".

No copiar ni distribuir

Edafología Forestal U de Chile

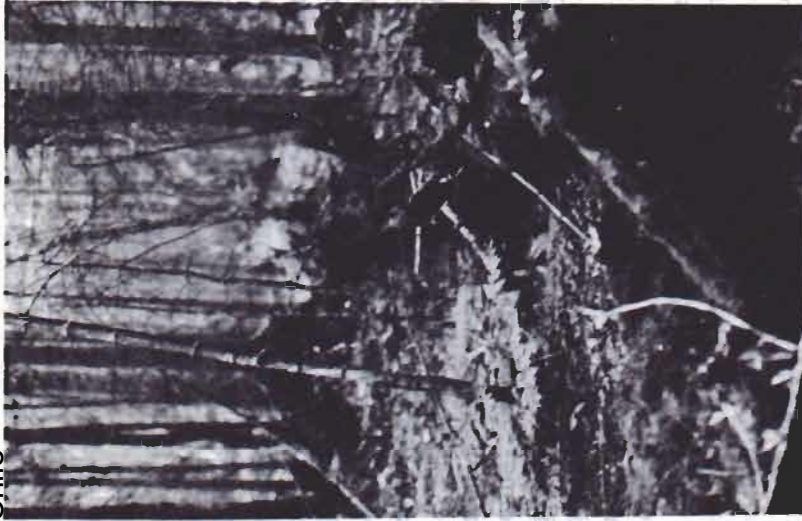


Figura 4.1 Cubierta forestal antigua debajo de un bosque de *Abies-Betula* en Quebec. Nótese la gran cantidad de troncos caídos y de residuos en este bosque boreal.

F Esta capa es una zona que se halla inmediatamente debajo del "litter", consta de materia orgánica fragmentada y parcialmente desintegrada, que se halla en un estado de preservación suficientemente bueno para permitir la identificación de su origen.

H Esta capa consta de materia orgánica amorfa, ya desintegrada. La capa H es en gran parte coprogénica, en tanto que la capa F todavía no ha recibido la influencia de la fauna edáfica. La capa H humificada a menudo es reconocida como tal en los humus de tipo *mull*. Debido a que la capa inferior de humus *mull* frecuentemente presenta una estructura migajosa y contiene una cantidad considerable de materiales minerales; se le puede designar como el horizonte A₁ del suelo mineral y no como parte de la cubierta forestal en sí.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 1975) acordó un procedimiento relativamente sencillo para designar los horizontes orgánicos superficiales de suelos minerales. Las dos subdivisiones se describen a continuación:

0₁ Horizontes orgánicos en los cuales esencialmente la forma original de la mayor parte de la materia vegetal es visible a simple vista. Pueden estar presentes en ellos restos identificables de animales del suelo, así como una cantidad considerable de hifas de hongos. La materia vegetal puede estar esencialmente inalterada, como por ejemplo las hojas recién caídas pero puede ser lixiviada de sus constituyentes más solubles y decolorarse. El O₁ corresponde a la capa L y algunas capas F mencionadas en las obras especializadas en suelos forestales, y antiguamente la llamaban Aoo en el Servicio de Conservación de Suelos.

0₂ Horizontes orgánicos donde la forma original de la mayor parte de la materia animal y vegetal no puede reconocerse a simple vista. El excremento de la fauna del suelo es por lo común una gran parte del material presente. El O₂ corresponde a la capa H y a algunas capas F de las obras especializadas en suelos forestales, y anteriormente se le designaba como Aoo.

Tipos de capas de humus

La dificultad para clasificar estas capas orgánicas en tipos de humus se debe sobre todo a las diferencias en cuanto a la nomenclatura que utilizan los científicos en diversas partes del mundo, para describirlas así como a las dificultades para caracterizarlas bajo diferentes condiciones dentro del mismo país.

Históricas. Heiberg y Chandler (1941), así como Remezon y Pogrebnyak (1969), hicieron descripciones históricas de la evolución y la terminología y clasificación de los tipos de capas de humus, subrayando algunas de las variaciones en nomenclaturas que se han utilizado en diversas partes del mundo. Por ejemplo, los términos de humus crudo, peat, humus ácido, *duff* y *mor* se han utilizado para describir un tipo de capa de humus, en tanto que humus blando, mantillo, y *mull* se han tomado para describir otro tipo.

Müller (1879) propuso la primera clasificación generalmente aceptable de cubiertas forestales basada en experiencias de campo en Dinamarca. El sistema de clasificación de Müller se basaba principalmente en las características morfológicas, pero reconoció que las variaciones en las propiedades se debían a

Forestal U de Chile

bre todo a las diferencias en las actividades biológicas en la capa de humus. Dividió a los tipos de humus en dos grupos generales y describió su relación con el crecimiento del bosque y sus efectos sobre el desarrollo del suelo. Llamó al depósito superficial de restos orgánicos como humos *mor*, y la compleja mezcla de humus amorfo y suelo mineral como humus *mull*. Müller describió el humus *mor* como una capa compacta y delimitada del suelo mineral que se halla abajo, en tanto que el humus *mull* poseía un límite inferior difuso y una estructura frágil, migajosa o granular. Además, de manera general, los *mulls* son menos ácidos que los *mors* y, en consecuencia, las bacterias son más abundantes en los *mulls*; en tanto que los hongos son los microorganismos más importantes en el humus de tipo *mor*. Por lo general, los *mulls* mantienen un buen nivel de nitrificación, pero esto no ocurre con los *mors*. Grandes poblaciones de lombrices están estrechamente relacionadas con los humus *mull* y, de hecho, se cree que las lombrices y los artrópodos están relacionados con su formación. Como consecuencia, el humus *mull* a menudo contiene grandes cantidades de materiales minerales, en tanto que el humus *mor* es esencialmente toda la materia orgánica.

Los científicos rusos también han descrito la formación de humus de acuerdo con la acción de organismos relacionados. En los lugares donde las lombrices ingieren residuos vegetales y los pasan a través de su sistema digestivo, los materiales sufren complejas transformaciones que hacen posible que los actinomicetos, bacterias y hongos descompongan estos materiales de manera más rápida y completa. Esta humificación más completa de los residuos vegetales da origen a un humus suave, de tipo *mull*. Por otra parte, la descomposición por acción fungica predomina en los suelos deficientes en bases y en nutrientes, lo cual da origen a residuos vegetales igualmente deficientes en bases. De manera característica, existen bases insuficientes para la neutralización de los ácidos húmicos que se producen, lo cual da por resultado una fuerte reacción ácida y una descomposición menos completa de los residuos orgánicos relacionados con el humus crudo (*mor*). Reconocieron una serie de transiciones graduales entre los dos extremos. A estas se les llamó de manera colectiva *moder*, a la manera de un sistema anterior que propusiera Kubierna (1953).

Pueden obtenerse algunas conclusiones generales respecto al origen de los rasgos distintivos de los tipos de *humus mor* y *mull*, pero probablemente ninguno de ellos es válido para todas las condiciones del suelo y todas las comunidades de plantas. Por ejemplo, los tipos de humus *mull* se forman por lo general debajo de los bosques de maderas duras y debajo de los bosques que crecen sobre suelos bien provistos de bases, en tanto que los tipos *mor* se hallan más a menudo debajo de los bosques de coníferas y de matorrales que

a menudo crecen sobre suelos spódicos, pero de ninguna manera exclusiva debajo de estos tipos de bosques ni sobre estos suelos (Romell, 1935). De hecho, además del tipo de "litter" otros factores también influyen en el tipo de humus. El clima tiene cierta influencia independientemente de su efecto sobre el suelo y en el desarrollo de la vegetación. Además, la fragmentación, descomposición y mezcla que producen los organismos relacionados con la capa "litter" influyen bastante en el desarrollo del humus. Por ejemplo, sobre suelos donde se desarrolla el humus *mor*, los hongos tolerantes ácidos, los protozoarios, los colembolos, y los ácaros son en gran parte los causantes de la descomposición del "litter" y, como consecuencia, la descomposición a menudo es lenta, con una estratificación resultante de la capa orgánica con el suelo mineral.

Clasificación en América del Norte. Es evidente que todas las capas de humus no caben fácilmente en uno u otro de los dos tipos generales, *mor* y *mull*. La naturaleza heterogénea de los suelos en Estados Unidos, y en cualquier parte, ha quedado reconocida y se han propuesto varias subdivisiones de los dos tipos de capas humus. Por ejemplo, Romell y Heiberg (1931), cuya obra revisaron Heiberg y Chandler (1941), describieron los tipos de capas de humus para los suelos de terrenos elevados del Noreste de los Estados Unidos. Describieron los tipos de humus como compuestos de materia mineral y orgánica, en los cuales la transición hacia un horizonte inferior no es brusca. Dividieron el humus *mull* en 1) burdo, 2) mediano, 3) fino, 4) firme y 5) mixto. Describieron el humus *mor* como "una capa de material orgánico no incorporado, por lo general suelto o compactado o en ambas formas, delimitado de manera clara del suelo mineral a menos que este último haya sido oscurecido por la lixiviación de la materia orgánica". Dividieron el humus *mor* en tipos 1) afelpado, 2) laminado, 3) granular, 4) untuoso, y 5) fibroso sobre la base de sus propiedades morfológicas. (Un ejemplo del humus *mor* aparece en la figura 4.2). Aunque esta clasificación era adecuada para el noreste de los Estados Unidos, algunos tipos de humus en otras regiones no estaban claramente identificados bajo este sistema.

En un informe para la Soil Science Society of America, Hoover y Lunt (1952) propusieron un sistema más completo basado en la presencia o ausencia de una capa humificada, el grado de incorporación de la materia orgánica en la capa superior del suelo mineral, y la estructura, grosor y contenido de materia orgánica de la capa de humus y del horizonte A_1 . Propusieron tres categorías principales: *mull*, *duff mull* y *mor*, con el humus *mull* dividido en 1) compactado, 2) arenoso, 3) burdo, 4) mediano, 5) fino y 6) mixto; y el humus *mor* agrupado en 1) espeso, 2) delgado, 3) untuoso, 4) afelpado y 5) imperfecto. Explicaron que el humus de *duff mull* tenía una capa humificada con un horizonte inferior A_1 , que era esencialmente similar a un verdadero



Figura 4.2 Capa gruesa de humus *mor* en un bosque de abetos en Noruega Central. Nótese una capa A_2 lixiviada de color gris correspondiente al horizonte spódico.

mull y que tenía las características tanto de *mulls* como de *mor*s. Dividieron a los *mulls-duff* en tipos grueso y delgado. Aunque estos y otros sistemas detallados de clasificación del humus forestal (Romell y Heiberg, 1931. Maeder, 1953; Wilde, 1958, y 1966) tienen mérito por los informes de carácter técnico y de algunas condiciones especiales, probablemente son demasiado complejos para el uso general en campo.

En la práctica, el humus que se encuentra en zonas de transición de condiciones ambientales alteradas, que podrían producir ya sea los tipos *mull* o *mor*, ha sido llamado "duff mull" por Hoover y Lunt (1952) y otro o *moder* (*mull* en formas de *mor*) por Edwards, Reichle y Crossley (1970), según lo describiera anteriormente Kubierna (1953). Este humus de las zonas de transición tiene características tanto de *mor* como de *mull*, como la estratificación en capas de diversos grados de descomposición, pero con alguna mezcla en la capa inferior de humus con el suelo mineral. A menudo es de grado intermedio en acidez, saturación de bases y contenido de nitrógeno entre los dos tipos extremos *mor* y *mull*. La mayor parte de los residuos vegetales debajo del "litter" se han convertido en heces animales u otros residuos, aunque algunos tejidos vegetales y otras estructuras celulares pueden aun distinguirse. La materia mineral, las heces de animales y los residuos orgánicos forman una mezcla bastante floja y la producción de sustancias húmicas no ha avanzado lo suficiente (Edwards y cols., 1970). Lyford (1963) consideró que el

LA CUBIERTA FORESTAL Uso exclusivo Cátedra Edafología Forestal U de Chile

humus *moder* es el resultado de una mezcla continua de una mezcla mineral en la parte inferior de la cubierta forestal, la cual es realizada por las hormigas y los roedores, sin destruir los horizontes orgánicos.

Los términos de *duff mull* y *moder* se usan de manera intercambiable para describir el humus en la mayor parte de las zonas de transición, pero también se han expresado las preferencias regionales por un término u otro. El *moder* puede utilizarse más a menudo para el humus que tiene una preponderancia de características de humus *mor*, en tanto que el *duff mull* puede ser más similar al humus *mull*. Para fines de investigación probablemente lo más adecuado es agrupar el humus de la cubierta forestal en tres tipos generales: 1) *mor*, 2) *moder* o *duff mull*, y 3) *mull*. En Norteamérica es evidente que el humus *duff mull* tiene un uso más difundido que el *moder* para los tipos intermedios.

Un tipo de humus *mor* por lo general se halla debajo de los bosques de abetos de la región boreal del Norte y Este de Canadá y bajo gran parte de los bosques de coníferas de Escandinavia y Siberia. El humus *duff mull* (*moder*) existe debajo de la mayor parte de los bosques de maderas duras naturales y en los campos forestales mixtos de pinos y árboles de maderas duras, en tanto que el humus *mull* a menudo se halla en la región central de maderas duras de los Estados Unidos y Europa Central. Sin embargo, cabe subrayar que las condiciones locales pueden alterar los tipos de capa de humus desarrollada a partir de lo normalmente esperado. Los tipos morfológicos principales pueden dividirse además en base a las propiedades físicas y químicas cuantitativas, si es necesaria tal subdivisión. Por ejemplo, Wooldridge (1970) informó que las cubiertas forestales que se hallan debajo de bosques mixtos de coníferas y de bosques de pinos ponderosa de la región central del Estado de Washington se clasificaron generalmente como *mors* porosos con capas H bien desarrolladas y hongos en abundancia, pero que incluyeron los *mors* granulares en los sitios más secos de coníferas y *mors* imperfectos mixtos en los lugares más secos y en un campo semiabierto de pinos. Sin embargo, él los caracterizó más bien en base a sus propiedades físicas y químicas.

La cubierta forestal bajo los pinos del Sur. Heywood y Barnette (1936) estudiaron 46 campos de pinos de hoja larga y arbustivos, moderadamente drenados en la llanura costera inferior de los Estados Unidos. Se habían protegido los campos forestales contra el fuego durante 10 a 50 años y la capa de humus poseía características intermedias entre los tipos *mull* y *mor*. Las capas de "litter" (L) generalmente contenían hojas formadas desde 2.5 a 3 años antes, las cuales posteriormente se fueron descomponiendo y pasaron a formar parte de la capa F. Las capas F estaban bien diferenciadas, y a menudo

descansaban directamente sobre el suelo mineral, ya que las capas H eran discontinuas y no se distinguían fácilmente. Las capas F tenían un grosor de 2 a 3 cm, no presentaban una disposición compacta y contenían micelios fungosos dispersos. Inmediatamente encima del suelo mineral se hallaba una capa delgada de excremento de la fauna del suelo, pero había escasa mezcla de este material con el suelo mineral. Aunque observaron capas de humus un tanto uniformes sobre diversos campos de pinos en el Sureste de los Estados Unidos, no trataron de clasificarlos. Como estos campos o sitios parecen tener algunas características tanto de los tipos *mor* como de los *mull*, probablemente se clasificarían como *duff mulls* según Hoover y Lunt (1952) o como los tipos *moder* según Kubierna (1953). Las cubiertas forestales bajo cuatro especies de pinos en las tierras bajas de Virginia, según se observó, tenían características similares a las descritas para los pinos de hoja larga y arbustivos (Metz, Wells, y Komanik, 1970).

DESCOMPOSICION Y ACUMULACION

La cantidad y el carácter de la cubierta forestal depende en gran medida del grado de descomposición de los desechos orgánicos. La tasa de desintegración del material de la cubierta está determinada por la naturaleza física y química del tejido fresco, las condiciones de aireación, temperatura y humedad de la cubierta, así como los tipos y cantidades de microflora y fauna presentes. Como los procesos de descomposición son sobre todo biológicos, estas tasas están influenciadas por los mismos factores que gobiernan la actividad de los organismos. Las concentraciones de fósforo y de bases, así como la relación de carbono/nitrógeno en los desechos, afectan la actividad de los microorganismos. Debido a que la influencia del medio ambiente se explicará con cierto detalle en el siguiente capítulo; en éste solamente se describirá el modelo general de la descomposición de la materia orgánica.

Descomposición de la cubierta forestal

El ritmo de descomposición del "litter" fresco puede ser muy rápido, con una tasa de renovación que varía de uno a tres años en los climas templados y fríos, hasta unos cuantos meses en los trópicos. El porcentaje de pérdida de hojas secas de cuatro especies de árboles en Tennessee durante un año fue del 90% para la mora (*Morus*) el 70% para el algarrobo (*Prosopis*), el 58% para el roble blanco, (*Quercus alba*) y el 40% para el pino (*Pinus*) (Edwards y cols., 1970). En un estudio similar, los autores reportaron que las hojas de haya (*Fagus*) perdieron el 65% de su peso; el encino perdió el 80% y las hojas de olmo, abedul y trueno se cayeron completamente al cabo de un año.

Según se hizo notar anteriormente, el proceso de descomposición a menudo se inicia incluso antes de que los desechos vegetales se incorporen a la

cubierta forestal. Los exudados de las hojas proporcionan la invasión de los organismos patógenos mientras las hojas aún se hallan sobre los árboles, y hay otra invasión de hongos durante las primeras semanas de la intemperización después de que el "litter" llega a la cubierta forestal. Las hojas se oscurecen y gran parte de los azúcares solubles en agua, ácidos orgánicos y polifenoles se lixivian durante ese período. A medida que los polifenoles solubles en agua se eliminan debido a la intemperización, el "litter" se vuelve más apte para los artrópodos y para la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*), según Edwards y cols. (1970). En estas primeras etapas de descomposición del "litter", puede haber presente una gran población microbiana, pero esta en gran parte inactiva. Aparentemente, sin una fragmentación preliminar por los animales del suelo, los microbios, por abundantes que sean no pueden descomponer los constituyentes de muchos tipos de hojas. En las regiones templadas, la lombriz de tierra, los rotíferos y los artrópodos, entre éstos últimos los ácaros y los crustáceos, son los causantes de la mayor parte de la fragmentación, y si por algún motivo se retarda esta fragmentación, se retrasa todo el proceso de descomposición.

Los cálculos de las cantidades anuales de "litter" de árboles caducifolios que se convierten en heces de animales varían desde el 20 hasta el 100%, según un artículo sobre el tema escrito por Edwards y cols. (1970). Se identificó una sucesión de especies de microflora sobre las heces fecales, pero solamente hubo ligeros cambios químicos después del paso del "litter" a través de los intestinos de los artrópodos del suelo. El aumento en el área superficial que resulta de la ingestión de "litter" por parte de microartrópodos se considera la contribución más importante para su descomposición final. Aunque algunos animales del suelo son capaces de descomponer la celulosa con ayuda de las enzimas en su tracto digestivo, la mayor parte de la evidencia es en el sentido de que los procesos químicos de humificación son causados más por los microbios que por la fauna del suelo.

En algunas regiones, las termitas son particularmente importantes en la reducción y descomposición de grandes cantidades de madera que llegan a la cubierta forestal. Los micelios fungosos se ramifican a través de las hendiduras en la madera y reblandecen el tejido; posteriormente muchos insectos y larvas invaden el tejido húmedo. Las heces de estos animales constituyen un sustrato rico para los microorganismos. El tipo de organismos que intervienen depende en gran medida de la naturaleza de desechos orgánicos, pero todos ellos avanzan hacia la transformación gradual de compuestos complejos hasta convertirse en materiales tan sencillos como bióxido de carbono, gases, agua, nitrógeno, elementos minerales, y materiales complejos del humus amorfo. Los materiales se acumulan en la cubierta forestal, incluso en condiciones aerobias, raramente hay una oxidación completa. Mientras **NO** copiar ni distribuir

carbohidratos, las proteínas y las pectinas y las pectinas desaparecen con cierta rapidez, las ceras, las resinas y las leguminas persisten durante años enteros. Como se sintetiza una cantidad considerable de material celular que, junto con sus leguminas modificadas, constituyen el volumen principal del humus del suelo. Este último es un material oscuro sin estructura formado por polímeros complejos de sustancias fenólicas. El humus es más o menos estable y, en suelos ricos en fauna, se mezcla completamente en el horizonte superior del suelo mineral.

Acumulación de la cubierta forestal

La acumulación de materiales orgánicos sobre la cubierta forestal está en función de la cantidad anual de "litter" caído menos la tasa anual de descomposición. Aunque muchos factores ambientales afectan la tasa de descomposición del "litter", el ritmo de la caída de éste es notablemente uniforme entre las especies de árboles que crecen bajo condiciones de clima y suelo similares.

La caída periódica del "litter" se determina recogiendo todos los desechos que caen a la cubierta forestal en una trampa para hojarasca y, después de secarse y pesarse se convierten a una dimensión del área base. Por lo general, una trampa consta de una estructura en cuadro con lados de escasa altura y con fondo de malla de alambre para permitir el drenaje. El material total de cubierta forestal acumulado se determina recogiendo todos los materiales orgánicos sobre un área específica del suelo y separándolos en sus capas componentes.

Un rendimiento anual de 2.0 a 6.0 toneladas por hectárea cuadrada parece que es el más común para la mayor parte de los bosques de coníferas de maderas duras en las regiones templadas; sin embargo, en los bosques tropicales lluviosos se producen hasta 12 toneladas por hectárea (Bray y Gorham, 1964). La relación entre la producción de "litter" y la latitud se muestra en la figura 4.3. La caída de hojarasca anual en un bosque de maderas duras al Norte de Nueva Hampshire tuvo un promedio de 5.7 toneladas por hectárea y las hojas, ramas, tallos y cortezas contribuían con el 49.1, 22.2, 14.1 y 1.7%, respectivamente (Gosz, Lichens y Bormann, 1972). Otras estructuras (como hojas de capullos, frutos y flores), excrementos de insectos y tejidos diversos contribuyeron con el 10.9%. Los árboles altos contribuyeron con el 98% de la caída de la hojarasca. Bray y Gorham hicieron notar que el "litter" que no contenía hojas constituía un promedio del 30% del "litter" total en los bosques del mundo. También reportaron que un promedio del 9% del "litter" total se deriva de la vegetación secundaria, pero señalaron que la cantidad de esta hojarasca variaba con la densidad del follaje del bosque. Heywood y Barnette (1936) observaron una caída anual de hojas de 2.7 a 3.9

toneladas por hectárea en los bosques maduros de pinos de hojas largas y arbustivos sobre suelos bien drenados, con acumulaciones totales de material sobre la cubierta forestal de un promedio de 61 toneladas. Lutz y Chandler (1946) revisaron informes sobre la caída anual de "litter" a partir de cierta

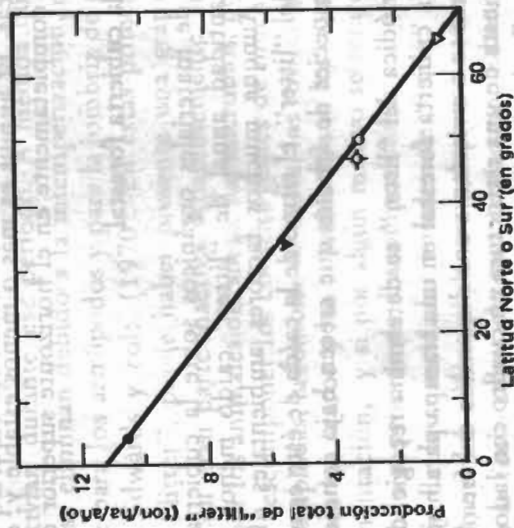


Figura 4.3 Producción anual de "litter" en relación con la latitud. La línea indica los promedios para las zonas climáticas: ●—ecuatorial; ▼—templado-cálido; ◊—templado-frío (Norteamérica) ○—templado-frío (Europa); ▽—ártico-alpina (Bray y Gorham, 1964). Tomado con permiso. Derechos reservados por Academic Press, Inc. (Londres) Ltd. Advances in Ecological Research, Vol. 2.

variedad de especies y ubicaciones, y observaron que las cantidades de material seco variaban de 2.2 a 3.4 toneladas.

La acumulación de la cubierta forestal es influida no sólo por la tasa anual de descomposición, sino también por el tiempo que tenga la cubierta o el que haya transcurrido a partir del último incendio o de cualquier otra perturbación. El aumento en acumulaciones orgánicas es un tanto rápido en las primeras etapas del desarrollo del campo forestal y en la primera década más o menos después del incendio, pero a la larga se alcanza un estado casi de equilibrio, cuyo ritmo de descomposición es aproximadamente igual al aporte anual de materiales orgánicos (Bray y Gorham, 1964; Wells, 1970).

El equilibrio es de carácter dinámico y se alcanza en mayor grado en las comunidades clímax. Hayward y Barnette (1936) pensaron que un equilibrio de entrada y salida de la cubierta forestal se alcanzaba probablemente en 10 años en el campo forestal maduro de pino del sur protegido contra el fuego. El progreso hacia un equilibrio es mucho más rápido en condiciones favorables de crecimiento que bajo extremos de temperatura y de humedad. Por ejemplo, McFee y Stone (1965) informaron que el peso de la materia orgánica en las cubiertas forestales bajo los campos forestales maduros de abedul amarillo-abeto rojo que crecían sobre arenas deslavadas en las montañas Adirondack de Nueva York, aumentaron de un promedio de 1.31 toneladas a los 90 años de tiempo a 265 toneladas a la edad de 325 años o más. La humedad disponible en el suelo influye en la acumulación del material de la cubierta forestal como resultado de su efecto sobre el crecimiento arbóreo. Wollum (1973) informó que los pesos secos de las cubiertas forestales aumentaron de 9.4 a 80.8 toneladas por hectárea a lo largo de un gradiente de humedad desde un lugar húmedo (piñonero—junípero), hasta el extremo húmedo del gradiente (abeto blanco) en Nuevo México. Desde luego, la acumulación de materia orgánica de la cubierta forestal, así como el desarrollo de los suelos de turba (peat) puede ser resultado de una actividad biológica reducida, especialmente donde hay un abasto abundante de "litter" orgánico y, no obstante esto, existe un periodo limitado en el cual las temperaturas son adecuadas para la descomposición. Algunos materiales orgánicos de horizonte B en los Spodosoles (podzoles) de Escandinavia, según se ha calculado, tienen más de mil años de acuerdo con las mediciones del carbono -14 , y el humus que contiene las cubiertas forestales en climas fríos puede tener una antigüedad de más de 100 años. De hecho, el ritmo lento de descomposición de los desechos orgánicos constituye uno de los principales motivos de la deficiencia en nitrógeno que es notable en algunos bosques maduros sobre estos suelos y otros similares en el bosque boreal canadiense (Weetman y Webber, 1971).

Olson (1963) hizo notar que, en contraste con los altos niveles de carbono y de acumulación de energía en los bosques templados y fríos, relativamente improductivos, los bosques tropicales altamente productivos tienen escaso almacenamiento de carbono debido al acelerado ritmo con que la materia orgánica se descompone y se incorpora al suelo mineral. Aunque la caída anual de hojarasca en el bosque tropical lluvioso puede ser varias veces mayor que en bosques de zona templada, el ritmo de reciclaje es muy rápido y la acumulación de "litter" sobre la cubierta forestal nunca es grande, salvo en los sitios muy húmedos. Sin embargo, algunos suelos de bosque tropical contienen grandes cantidades de materia orgánica en el horizonte A_1 de lo que cabría esperar condiciones de temperatura y humedad favorables para la descomposición. Aparentemente, esta situación se debe a

la formación de complejos de aluminio del suelo con la materia orgánica, lo cual, a su vez, reduce el ritmo de actividad microbiana (Mutatkar y Pritchett, 1967). También se observó que una deficiencia en el fósforo disponible limitaba la mineralización de la materia orgánica en los Andepts de Colombia (Muneval y Wollum, 1977).

Romezov y Pogrebnyak (1969) informaron que la cantidad de material seco en la cubierta forestal (restos orgánicos no incorporados) variaba de 22 a 35 toneladas por hectárea bajo bosques de coníferas, de 27 a 77 toneladas bajo bosques mixtos de maderas duras, y de 35 a 95 toneladas por hectárea bajo bosques de maderas duras en Rusia. Sin embargo, la mayor parte de los investigadores han señalado una mayor acumulación de humus *mor* que de humus *mull*. Esto, aparentemente, es el resultado de un ritmo lento de descomposición del "litter" en condiciones *mor*. Por ejemplo, se hallaron cubiertas forestales *mor* y *duff mull* en campos de coníferas antiguos en las Cascadas (Gessel y Balci, (1965), obteniendo en el primero un peso total de 158 toneladas y en el último 103 toneladas por hectárea. Estos investigadores también observaron que los pesos de las cubiertas forestales debajo de bosques de abeto Douglas inmaduros en el Este y en el Oeste de Washington tenían un promedio de 28 y 14 toneladas por hectárea, respectivamente. Se han hallado valores similares para los restos orgánicos no incorporados en suelos forestales de Minnesota. En los bosques maduros de árboles de maderas duras, la materia seca tuvo un promedio de peso de aproximadamente 45 toneladas por hectárea, en tanto que los de coníferas, el peso seco de las cubiertas forestales tuvo un promedio de 112 toneladas. La cubierta forestal debajo de un bosque fertilizado de pino arbustivo de 15 años sobre un suelo de sabana húmeda en Florida, tuvo un promedio de 46 toneladas por hectárea, con aproximadamente 2/5 partes de la capa L y 3/5 partes de la capa F, según se ilustra en la tabla 4.1 Lyford (en una comunicación personal) observó que el peso seco de la materia orgánica de la cubierta forestal debajo del bosque de maderas duras, coníferas y del bosque mixto de maderas duras y coníferas en el Noroeste de los Estados Unidos, variaba de 40 a 109 toneladas para el humus *duff mull* y de 53 a 82 toneladas para el humus *mor* (tabla 4.1). Bray y Gorham (1964) recopilaron una descripción completa, por zonas climáticas de acumulación de "litter" en los bosques del mundo, la cual se resume en la figura 4.3.

La cantidad de materia orgánica no incorporada que se acumula en la superficie de suelos minerales es influida tanto por la textura del suelo como por la naturaleza de la capa misma. Los suelos minerales de textura fina normalmente acumulan mayores cantidades de materia orgánica que los suelos de textura gruesa. Aunque por lo general se cree que los suelos de pasturas contienen una mayor cantidad de materia orgánica que los suelos forestales, esto probablemente es correcto solamente para los horizontes minerales. Las diferencias en el contenido de materia orgánica entre estos dos grupos de

Tabla 4.1 Pesos y propiedades de las capas de las cubiertas forestales bajo varios tipos de bosques

Tipo de bosque	Capa	Peso seco					Ton/ha	porcentaje (sobre una base de secado al horno)					
		N	Ca	Mg	P	K		S	A	I			
Bosque de abetos (<i>Picea</i>) (Clase 1)	L	2.9	1.17	1.23	0.31	0.14	0.24	0.13	0.32				
	F	8.2	1.45	1.18	0.30	0.11	0.13	0.08	0.58				
(Romezov y Pogrebnyak, 1969)	H	10.1	1.32	0.76	0.30	0.09	0.09	0.08	1.09				
	L	1.1	1.37	1.36	0.32	0.21	0.31	0.13	0.43				
Bosque antiguo, Rusia	F	6.1	1.66	1.38	0.32	0.21	0.18	0.21	0.48				
	H	10.9	1.18	1.25	0.27	0.17	0.05	0.42	1.26				
Pino arbustivo—de hoja larga (<i>Pinus elliotii-palustris</i>) <i>moder</i>	L	10.2	0.52	0.44	0.12	0.05	0.06	—	—				
	F	22.8	0.54	0.42	0.09	0.06	0.04	—	—				
Av. 19 campos (de 10 a 50 años) Heyward y Barnett, 1936)	L	15.0	0.45	0.66	0.07	0.03	0.04	—	0.05				
	F	24.5	0.56	1.15	0.05	0.02	0.04	—	0.43				
Pino laciañado (<i>Pinus elliotii</i>) (de 15 años)— <i>moder</i> (Pritchett y Smith, 1974)	L	14.4	1.10	—	—	—	0.10	0.10	—				
	F	22.4	1.35	—	—	—	0.11	0.11	—				
Coníferas de crecimiento antiguo— <i>mor</i> (Gessel y Balci, 1965)	H	121.0	1.22	—	—	—	0.10	0.10	—				

Uso exclusivo Cátedra Edafología Forestal U de Chile

Forestal U de Chile probablemente se deben más al tipo y a la distribución vertical en el suelo que a las cantidades reales presentes (Lutz y Chandler, 1946).

PROPIEDADES DE LA CUBIERTA FORESTAL

Son muchos los factores que influyen en el crecimiento de los árboles y en el ritmo de descomposición de la materia orgánica, como las características del suelo, el clima y las especies de árboles, que también afectan las propiedades físicas y químicas del humus de la cubierta forestal.

Propiedades físicas

Entre otras cosas, la etapa de descomposición y compactación del "litter" afectan las propiedades físicas de la cubierta forestal. Gessel y Balci (1965) dieron a conocer que la densidad media del humus mor era de 0.12g por cc, en tanto que la del humus duff mull era de 0.14 en los campos antiguos de crecimiento de coníferas. McFee y Stone (1965) observaron que la densidad media de la cubierta forestal bajo de *Betula-Picea* en Nueva York variaba desde 0.12 hasta 0.16 y no estaba influenciada por la edad del campo. En el estudio de Gessel y Balci (1965), los valores medios para la capacidad de campo y de la capacidad de saturación fueron mayores para el humus duff mull. Señalaron que la cubierta forestal mor puede retener 4.26 cm de agua en comparación con 2.53 cm para el humus duff mull. Wooldridge (1979) informó la capacidad máxima de retención de agua que, según sus cálculos, variaba desde 1.9 cm bajo los bosques de pinos hasta 3.2 cm bajo los bosques mixtos de coníferas en la región central del Estado de Washington. Esos valores concuerdan con los hallados por Remezov y Pogrebnyak (1969). Sus valores cayeron dentro de una escala de 1.0 hasta 5.0 cm y la capacidad de retención de agua variaba según la compactación del "litter".

Propiedades químicas

El "litter" fresco consta de un gran número de compuestos orgánicos complejos, cuyos porcentajes relativos varían en las diferentes partes de las plantas, las distintas especies, la antigüedad del material y los suelos sobre los cuales se produjeron. Pueden hacerse algunos enunciados de carácter general sobre la composición de la materia prima para la cubierta forestal. El contenido relativo de cenizas para las hojas de árboles es por lo general mayor que la corteza, el cual a su vez es mayor que el de las ramas, con el contenido

Propiedades físicas	Coníferas de crecimiento antiguo-duff-mull	(Gessel y Balci, 1965)	Pino rojo (<i>Pinus resinosa</i>) - duff-mull	45 años - Nueva Inglaterra	(Lyford, com. personal)	Abeto-arce (<i>Tsuga-Acer</i>)-mor	Crecimiento antiguo - Nueva Inglaterra (Lyford, com. personal)	Pino Lobolly (<i>Pinus taeda</i>)-mull	Carolina del Norte (26 años)	(Lyford, com. personal)	Pino ponderosa (<i>Pinus ponderosa</i>) (maduro)	Abeto blanco (<i>Abies concolor</i>) (80 años)	Wollum, 1973
L	13.6	1.27	5.3	31.7	31.2	5.8	44.9	31.4	—	—	25.1	80.8	
F	18.0	1.46	—	31.7	1.43	0.68	1.49	1.17	—	—	0.75	1.09	
H	71.7	1.30	—	1.43	0.27	0.38	0.21	0.10	0.59	0.26	1.71	3.32	
L	—	—	0.63	0.63	0.55	0.02	0.03	0.04	0.06	0.06	0.33	0.42	
F	—	—	0.12	0.12	0.08	0.06	0.10	0.09	0.07	0.05	0.06	0.10	
H	—	—	0.13	0.13	0.08	0.07	0.10	0.60	0.06	0.05	0.32	0.29	
L	—	—	0.13	0.13	0.08	0.06	0.10	—	—	—	0.15	0.21	
F	—	—	0.08	0.08	0.08	0.07	0.10	—	—	—	—	—	
H	—	—	0.08	0.08	0.08	0.07	0.10	—	—	—	—	—	

Uso exclusivo Cátedra Edafología Forestal U de Chile

do menor en la parte medular. Por ejemplo, las concentraciones de fósforo en los componentes del pino arbutivo fueron un promedio de 0.07, 0.016, 0.018, y 0.006% en el follaje, la corteza, las ramas y la zona medular, respectivamente. El contenido de ceniza del tronco por lo general pertenece a la escala de 0.2 al 1.0%, y la albura por lo general tiene un mayor contenido que el duramen.

Bray y Gorham (1964) informaron que el porcentaje de ceniza de la mayor parte del "litter" de gimnospermas se hallaba en la escala del 2 al 6%, en tanto que el litter de angiospermas variaba del 4 al 14%. Las hojas de las especies de maderas duras por lo general contienen mayores concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio que las hojas de las coníferas, aunque no en todas las circunstancias. Por ejemplo, las hojas del roble o de la haya que crecen sobre el suelo deficiente en bases pueden contener menos calcio que las agujas del abeto que crece sobre suelos fértiles. Los contenidos de cenizas del "litter" de especies que por lo general son pioneras en el desarrollo del bosque y que a menudo se encuentran en los suelos más infértiles por lo general son menores que los de las especies que se hallan en las comunidades más desarrolladas (clímax) y sobre los lugares de condiciones medias y fértiles, (Bray y Gorham, 1964). La edad de las hojas para el tiempo en que llegan a la cubierta forestal también influye sobre su composición. En la mayor parte de las especies, el porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio disminuye a medida que avanza la estación de crecimiento, debido principalmente a la traslocación a un tejido de crecimiento más activo. Sin embargo, una disminución en la concentración no siempre significa una disminución en las cantidades absolutas, porque el peso seco de las hojas individuales a menudo aumenta a lo largo de la estación (tabla 4.2).

La composición química de la cubierta forestal tiene un gran efecto sobre el ritmo de descomposición del "litter" y de la liberación de nutrientes, así como en la población del suelo y en el crecimiento de los árboles. El pH, la relación carbono/nitrógeno, así como la concentración de constituyentes minerales en las diversas capas orgánicas, es influido tanto por el tipo de suelos como por el tipo de vegetación a partir de la cual se desarrollaron las capas. Estas propiedades influyen en el desarrollo del suelo y en la composición del campo. Como regla general, el humus *mor* es más ácido que el humus *mul*, pero debido a que estos dos tipos de humus se desarrollan a menudo debajo de una amplia gama de especies de árboles, la creación (pH) de sus capas de humus también varía dentro de una gran amplitud de límites. Wilde (1958) supuso que la acidez del humus *mul* podría variar desde pH 3.0 hasta 8.0. Heyward y Barnette (1936) observaron que la acidez de la capa F bajo *Pinus palustris* estaba en la escala de pH 3.4 a 5.0. Estos valores eran de 0.25 a 1.0 unidades de pH menor que las del horizonte A₁ del suelo correspondiente. Lutz y Chandler (1946) notificaron valores promedio de pH de 4.0

Tabla 4.2 Contenido de elementos de algunas cubiertas de bosques de coníferas

Tipo de bosque	Capas				Kilogramos por hectárea				
	L	F	H		N	P	K	Ca	Mg
Coníferas mixtas de crecimiento antiguo-humus <i>duff</i> (Gessel y Balci, 1965)	L	F	H		162	15	14	—	—
Abeto Douglas (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) (E Wash) (O de Wash) (Gessel y Balci, 1950)	L	H	F		171	15	15	—	—
Abeto negro (<i>Picea mariana</i>) (65 años) FF ^a					266	22	21	—	—
<i>Picea rubens</i> - <i>Abies</i> (mixto) (Weetman y Webber, 1972)					956	77	67	—	—
Abedul-abeto (<i>Betula-Abies</i>) (300 años) (McFee y Stone, 1965)	FF ^a	FF ^a			327	29	42	—	—
Pino de hoja corta (<i>P. Echinata</i>) (17 años) b (Metz y cols, 1970)					193	16	15	—	—
Pino piñonero-junipero (maduro)	FF ^a				80	12	21	216	41
Pino ponderosa (maduro)	FF ^a				191	15	80	432	83
Abeto blanco (80 años) (Wollum, 1973)	FF ^a				883	85	235	2674	339
Pino del Sur (10-50 años) (Heyward y Barnette, 1936)	L	F			53	5	6	45	11
Pino de incienso (<i>P. Elliottii</i>) (Pritchett y Smith, 1974) (14 años)	FF ^a				123	13	8	96	20
Pino de Virginia (17 años) (Metz y cols, 1970)	L	F			18	1.4	3	11	2
Pino de incienso (<i>P. elliotii</i>) (Metz y cols., 1970) (17 años) ^b	L	F			217	13	10	77	9
Pino blanco del Este (<i>P. monticola</i>) ^b (17 años)	L	F			18	1.6	3	12	2
(Metz y cols., 1970)	F	H			159	12	11	73	10
Pino blanco del Este (<i>P. monticola</i>) (Metz y cols., 1970)	L	F			28	2.5	4	17	4
					178	13	10	65	9
					59	4	4	20	3
Pino blanco del Este (<i>P. monticola</i>) (Metz y cols., 1970)	L	F			23	2.1	3	28	3
					124	10	7	82	8

^a Todo el humus de la cubierta forestal

^b Promedio de 19 campos en el Sur de los Estados Unidos

4.5 y 4.9 para las capas L, F y H de humus *mor* debajo del *Pinus banksiana* y de 4.5, 5.9 y 6.5 para las mismas capas de humus *mull* debajo de un campo de *Acer* y de *tilia*. Estos valores son ligeramente superiores a los que se hallan bajo las coníferas más antiguas en las Cascadas (Gessel y Balci, 1965). La reacción de las capas L, F y H debajo de *Picea* tuvieron un promedio de pH de 5.1, 4.9 y 4.7, en tanto que las capas correspondientes debajo de *Betula* tuvieron un promedio de 5.9, 5.7, y 5.7, respectivamente, en los bosques de Rusia. La concentración de nitrógeno en las capas de humus parece estar correlacionada con el pH del material. Las concentraciones de nitrógeno en los materiales de la cubierta forestal a menudo varían del 1.5 al 2.0% en los bosques de maderas duras y en los de algunas coníferas del Norte y del 0.5 al 1.5% debajo de los pinos del Sur, como lo muestra Voigt (1965b) en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Concentraciones de nitrógeno en el "litter" y pérdida de peso, déficit de nitrógeno y PH al cabo de tres meses de descomposición en el laboratorio (Voigt, 1965 b).^a

Especie	N %	Después de la incubación		pH
		Pérdida de peso %	Déficit en N % del original	
<i>Tunga canadensis</i>	1.65	36.8	12.9	6.3
<i>Juniperus</i>	1.40	31.5	13.1	7.3
<i>Pinus resinosa</i>	1.50	18.2	12.7	5.7
<i>Alnus</i> (álamo)	2.18	34.2	24.3	5.5
<i>Cornus</i>	1.65	44.6	17.8	7.2
<i>Populus</i>	1.87	48.8	36.8	7.1
		Valores promedio		
Coníferas	1.52	28.8	12.9	5.9
Arboles de maderas duras	1.89	42.5	26.3	6.5

^a Reproducido de *Soil Science of America Proceedings*. Volumen 29, página 757, 1965, con autorización de la Soil Science Society of America.

La relación carbono/nitrógeno da un índice de la disponibilidad del nitrógeno en el material de la cubierta y su ritmo de descomposición. Las relaciones para las cubiertas forestales de *Pinus palustris* y *P. elliottii* (Heywood y Barnette, 1936) variaban de 79 a 142 en las capas de "litter", de 38 a 64 en las capas F y de 20 a 46 en los horizontes A₁ del suelo arenoso. Los promedios para 19 localidades fueron de 101, 47 y 33 en las capas L, F, y A₁, respectivamente. Lutz y Chandler (1946) informaron que la relación

Forestal U de Chile en los materiales de la cubierta forestal de los campos de carbono/nitrógeno en promedio de aproximadamente 57; y el de la capa F de humus *mor* era de 29, en tanto que en la capa correspondiente de humus *mull* era de 33. La relación carbono/nitrógeno de las capas L, F y H del humus *mor* debajo de las coníferas más antiguas tuvieron un promedio de 45, 36 y 38, en tanto que las correspondientes al *duff mull* los tuvieron de 38, 31 y 29 (Bessel y Balci, 1965). En general, las relaciones carbono/nitrógeno son elevadas en las cubiertas forestales y disminuyen a medida que avanza la descomposición y la relación es mayor en el humus *mor* que en el humus *mull*. Sin embargo, la relación carbono/nitrógeno de la cubierta forestal raras veces llega al nivel de la del humus en los suelos agrícolas. Las relaciones en el humus de estos últimos materiales pueden llegar a 12, un valor en el cual la mineralización del nitrógeno se efectúa a un ritmo rápido.

Las composiciones químicas de las capas principales de las cubiertas forestales de algunos campos de coníferas y de maderas duras se dan en la tabla 4.1. Todos estos campos habían sido protegidos del fuego durante periodos prolongados. Cabe hacer notar que el humus de los campos de abedules era por lo general más alto en todos los nutrientes que de los campos de abetos en Rusia. El contenido de nutrientes de humus de los campos de coníferas del norte era por lo general mayor que el humus de los tres campos de pinos del Sur. La baja concentración de nutrientes en el bosque de pinos del Sur probablemente refleja el bajo nivel de fertilidad de los suelos de la llanura costera más baja, y puede explicar la acumulación relativamente mayor de "litter" en estos últimos campos. Existe un ritmo más lento de descomposición de los que cabría esperar de las condiciones favorables de temperatura y humedad en esta región, aparentemente debido al bajo contenido de bases del "litter".

Las concentraciones de potasio, calcio y magnesio generalmente disminuyeron desde la superficie de "litter" hacia las capas inferiores de humus debajo de algunos de los bosques, en tanto que las concentraciones de aluminio y manganeso, en las capas más desintegradas, refleja una concentración de estos elementos y, tal vez, cierta contaminación del suelo mineral.

Los constituyentes de los residuos vegetales, como son la hemicelulosa y la celulosa, disminuyen según la profundidad (aumentan con la descomposición), aunque la mayor parte de los compuestos sintetizados en el curso de la humificación, como los ácidos húmicos y fúlvicos, aumentan en proporción directa con la profundidad del suelo. Los valores de 2.9, 6.4, y 7.2% para los ácidos húmicos, se han hallado en las capas L, F y H del humus *mor* debajo de los campos de *Picea* rusos. Los valores correspondientes a los ácidos fúlvicos fueron de 4.3, 13.7 y 15.2% (Remezov y Pogrebnyak, 1967).

No copiar ni distribuir

En la cubierta forestal se almacenan cantidades relativamente grandes de nutrientes. El contenido total de nutrientes está relacionado con la cantidad y la composición de la cubierta, que a su vez está influenciada por la vegetación forestal, el clima, el suelo mineral y el periodo de acumulación después de una perturbación importante de dicha cubierta. En algunos suelos forestales, como las arenas glaciares eluviadas o los suelos arenosos de las regiones costeras, la cubierta forestal representa la reserva más grande de sustancias nutritivas para el crecimiento de los árboles. Aunque el contenido total de nutrientes de la cubierta forestal en las regiones cálidas puede ser de sólo una fracción del de las cubiertas forestales de los climas más fríos (tabla 4.2); el ritmo de descomposición y de reciclaje de los nutrientes es mucho más rápido en los bosques templados que en los del Norte. Se ha informado que la acumulación de materia orgánica debida al ritmo lento de descomposición en los suelos del bosque boreal y en otras regiones del clima frío a menudo dan como resultado deficiencias en nitrógeno (Weetman y Weeber, 1972). Independientemente de si la cubierta forestal se desarrolla en climas fríos o cálidos, ésta constituye el hábitculo de la mayoría de los organismos del suelo, el depósito de la mayoría de los nutrientes que intervienen en los procesos cíclicos y la vida misma del propio suelo. Debe considerarse de importancia vital para la productividad continua de cualquier ecosistema forestal y ser administrado de manera que produzca abastecimiento adecuado y a largo plazo de nutrientes a todos los componentes forestales.

ALTERACION DE LA CUBIERTA FORESTAL

La explicación más común de los factores que influyen en la descomposición y acumulación de los desechos orgánicos contenidos en la cubierta forestal está, de manera comprensible, demasiado simplificada. Tanto las fuerzas naturales como las que proceden del hombre actúan independientemente y en combinación para interrumpir un proceso que de lo contrario sería ordenado. Los incendios naturales son tal vez las armas más notables de la naturaleza para producir el cambio. Un incendio grande puede reducir las capas orgánicas de la cubierta a una delgada capa de cenizas en unos cuantos minutos. El manto aislante de la cubierta no sólo es destruido por tal incendio sin control, sino que las cenizas resultantes pueden afectar en grado significativo la condición de los nutrientes del suelo mineral subyacente. En contraste con los incendios naturales, los incendios controlados están dispuestos normalmente de tal manera que poco más de una capa de "litter" queda perturbada y no se hace ningún daño permanente al suelo mineral (Wells, 1971).

Forestal en Chile

Lyford (1973) consideró que el desarraigamiento de los árboles por el empuje del viento y por otras fuerzas naturales era una característica de todas las áreas forestales y a la vez una perturbación común de las capas orgánicas. El microrelieve de montículos y hoyos que resulta de los árboles desarraigados puede persistir durante varias décadas, sobre todo en los climas nórdicos. Se forman horizontes minerales edáficos delgados o discontinuos sobre los montículos, y capas profundas de materia orgánica se acumulan en los hoyos. El movimiento masivo del suelo por la gravedad también puede ocurrir en regiones inestables de terreno inclinado.

Entre otros agentes naturales que intervienen para alterar la cubierta forestal están los mamíferos excavadores o roedores, como los topos, ardillas y musarañas (Troedsson y Lyford, 1973), tal como se aprecia en la figura 4.4.



Figura 4.4 Suelo mineral transportado hacia la cubierta forestal por un crustáceo en la llanura costera.

Estos animales a menudo acumulan tierra alrededor de las entradas de sus madrigueras y mueven y revuelven el suelo cuando hacen sus túneles. Sus caminos abandonados se derrumban o se llenan de materiales del suelo desde arriba. El transporte del suelo mineral a horizontes orgánicos también puede producirse como resultado de la actividad de las hormigas, termitas, lombrices, roedores y otros animales pequeños. Donde los materiales del suelo mi-

neral son redepósitos por esta fauna, es probable que ocurra un cambio repentino y brusco en las propiedades del suelo. El proceso inverso de transporte de materia orgánica en el suelo mineral también ocurre como resultado de la actividad animal.

Actividades humanas La influencia humana sobre la cubierta forestal ha sido a menudo más fuerte que la de la naturaleza. En sus esfuerzos por aumentar la productividad de los campos por medio de un manejo intensivo, el ser humano ha alterado el equilibrio que normalmente se establece bajo los bosques maduros por medio de la cosecha, la tala y quema, preparación del suelo para cultivos, incendios controlados, fertilización y otras prácticas. La quema puede considerarse como una aceleración del proceso natural de oxidación que la cubierta sufre de manera continua. Es una operación un tanto drástica, pero cuando se controla debidamente, la quema causa poco daño a la cubierta y puede tener resultados positivos, reduciendo así la competencia con plantas de estratos inferiores y mejorando las condiciones tanto para la fijación simbiótica y no simbiótica del dinitrógeno. La quema también se ha utilizado para reducir la formación excesiva de humus *mor*, así como para aumentar la mineralización en estas capas orgánicas ácidas. La ceniza residual produce un aumento en el pH y en el contenido en bases de la capa superficial (Viro, 1974).

A menudo se pueden alterar las capas orgánicas aumentando la cantidad de luz solar y la precipitación que llega a la cubierta. El enrarecimiento o la eliminación de la vegetación sobre el campo forestal normalmente da como resultado un aumento en la temperatura del suelo y en la humedad, así como una mayor descomposición y mineralización de las capas orgánicas. Supuestamente, el aumento en la tasa de descomposición es con frecuencia resultado de una mayor actividad microbiana en general, en la que la actividad bacteriana asume una función más importante en las etapas posteriores de la descomposición.

La preparación del lugar para los bosques con manejo intensivo destruye en gran parte la cubierta forestal, mezclando las capas orgánicas con el suelo mineral mediante el uso de maquinaria especializada para aplanar la tierra o torrar bordos. Tal manipulación puede concentrar el humus y aumentar la aireación y la oxidación de la materia orgánica en estos suelos. Schultz y Wilhite (1974) observaron que el contenido específico de la materia orgánica de la capa de 0 a 15 cm de un suelo de árboles de madera plana en el norte de Florida no resultaba muy afectado por medio de una aplicación superficial de aplanadoras, que aumentaba en un 33% en los lechos bajos al cabo

Forestal U de Chile de cuatro años. El aplanado (emparejado) de estos suelos también hizo que aumentaran los niveles de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio disponibles en la zona de arraigamiento de los árboles durante los primeros años después de la plantación (Haines y Pritchett, 1965).

Se han llevado a cabo intentos para mejorar la calidad de los nutrientes y el ritmo de los ciclos de la cubierta forestal, alterando la composición del campo. Por lo general, se cree que los nutrientes en el humus bajo los bosques mixtos se pueden reciclar más fácilmente que en los humus de los bosques puros. La investigación en Europa ha indicado que es posible mejorar la productividad del suelo introduciendo algunas especies de árboles de maderas duras en los bosques de coníferas. Los desechos resultantes tenían un mayor contenido de bases y un pH más alto y se descomponía con mayor rapidez. Sin embargo, la intercalación de algunas especies de maderas duras no fue especialmente benéfica para la productividad de los campos de *Picea*. Es poco probable que la intercalación de especies de maderas duras sobre los suelos arenosos, y sobre otros lugares que no son favorables para los árboles de maderas duras, mejoren de manera sustancial las condiciones del lugar.

En Alemania se han utilizado las leguminosas para mejorar la cantidad de nitrógeno en el suelo y aumentar así el ritmo de circulación de minerales en los bosques empobrecidos anteriormente por retiros de "litter" (Rehfuess y Schmidt, 1971). Sin embargo, el daño hecho a las raíces, resultante del barbecho de la cubierta forestal para la plantación de leguminosas, por lo visto impidió aumentos significativos en el crecimiento volumétrico de los árboles. El aliso (*Alder*) y otras plantas no leguminosas que son capaces de realizar una fijación no simbiótica del nitrógeno, también se han plantado en los bosques para enriquecer la cubierta forestal y aumentar la productividad del lugar. Las plantas de este tipo pueden desempeñar una función importante para mantener niveles adecuados de nitrógeno en algunos ecosistemas forestales, y deberá tenerse en consideración a las especies fijadoras del dinitrógeno para elaborar cualquier sistema de manejo forestal (Schultz, 1971).

Las aplicaciones de fertilizantes químicos pueden ser necesarias para establecer y mantener las plantas fijadoras del dinitrógeno (N₂). Además de este posible efecto benéfico de los fertilizantes, pueden tener un efecto más directo sobre la cubierta forestal a través de una mayor caída de "litter". Por ejemplo, el peso seco de la cubierta forestal debajo de un campo de pinos de 15 años sobre un suelo costero húmedo fertilizado con 45 kilos de nitrógeno por hectárea, 267 kilos de fósforo y 267 kilos de potasio, fue de 39.6 toneladas por hectárea en comparación con 8.2 toneladas por hectárea en las parcelas no fertilizadas. Los nutrientes de la cubierta forestal también aumentaron

Uso exclusivo: Catedra Edafología Forestal U de Chile por la fertilización. Por ejemplo, el **almendro** desde 3 hasta 205 kg por hectárea, aunque solamente se añadieron 45 kg de fertilizante (Pritchett y Smith, 1974).

Parece que la mayor parte de las manipulaciones de la cubierta forestal aumentan la actividad biológica y la tasa de oxidación de la materia orgánica. Esto indudablemente incrementa la circulación y la disponibilidad de los nutrientes. Sin embargo, no se sabe si todos esos aumentos son benéficos para el crecimiento arbóreo a largo plazo y por lo tanto, para la productividad.

El efecto de la actividad biológica en la oxidación de la materia orgánica en la cubierta forestal es un tema que ha sido tratado en detalle por Smith y Smith (1974). En general, se ha observado que la actividad biológica en la cubierta forestal aumenta la oxidación de la materia orgánica y, por lo tanto, la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, no se sabe si todos estos aumentos son benéficos para el crecimiento arbóreo a largo plazo y por lo tanto, para la productividad.

No copiar ni distribuir