

Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial

Effect of *Pinus radiata* on the chemical-nutritive characteristics of surface mineral soil

C.D.O.: 181.32-114.35

JUAN E. SCHLATTER¹, LUIS OTERO²

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

²Instituto Forestal, Valdivia, Chile.

SUMMARY

This paper relates two studies, each of which compared forest floor and upper mineral soil horizons between first-rotation *Pinus radiata* (21-27 years old) and secondary native forest of similar age and growth. The first study was carried out near Valdivia, Chile (39°45'S; 10-150 m above sea level) on red clay soils of the Los Ulmos series (Ultisols). The second was carried out near Collipulli, Chile (38°S; 500-600 m above sea level) on holocenic volcanic ash soils of the Santa Barbara series (Andisols).

Pinus radiata plantations contained a moder humus of loose structure, but slow decomposition given the regional climatic conditions. The native forest contained a mull humus with rapid decomposition, however, a moder humus was found in the higher elevations with colder climates.

The morphology of the organic layer under native forest showed good incorporation into the mineral soil, indicating the importance of soil fauna in producing a well-structured, well-mixed profile. In contrast, under *P. radiata* plantations the limit between organic and mineral soil is easily distinguishable, soil fauna plays a lesser role, and the rate of decomposition is lower.

These differences are caused by the chemical-nutritive features of pine litter, which is poorer in calcium and nitrogen, and richer in inhibitory substances such as resins, waxes, and lignon. These substances, along with the greater fungal activity in pine litter, causes a more acidic organic layer, which in turn affects mineral soil. This acidity is less of a problem on sites (such as Collipulli) with higher base reserves and cation exchange capacity, but on sites with a lower buffering capacity, the acidity can reduce soil fertility in the medium term.

The aggressive behavior of *P. radiata* makes it suitable for colonization of recently cleared or eroded soils; however, in other situations it should be controlled through silvicultural practices to maintain medium- and long-term regional soil fertility.

RESUMEN

Este estudio consideró dos trabajos comparativos sobre el efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* (21-27 años), de primera rotación, sobre el piso forestal y sobre el horizonte mineral superficial, en relación a la situación bajo bosque natural secundario, de edad de desarrollo equivalente. Uno de los trabajos se desarrolló en los alrededores de Valdivia (39°45'S), a 10-150 m s.n.m. en suelos rojo arcillosos de la serie Los Ulmos (ultisol). El otro se llevó a efecto a 500-600 m s.n.m. en los sectores precordilleranos de Collipulli (38°S), en suelos de cenizas volcánicas holocénicas de la serie Santa Bárbara (andisol).

Las plantaciones de pino desarrollan una forma de humus del tipo moder, de estructura suelta, pero con una descomposición lenta para la situación climática de la región considerada. En el bosque nativo, en cambio, la forma de humus dominante es del tipo mull, de rápida descomposición, y sólo en climas más fríos a mayor elevación presenta una moderización. La morfología del mantillo bajo bosque natural muestra una buena integración biológica con el suelo mineral, dando origen a un sistema gradual y bien estructurado, donde la fauna juega un rol principal. Bajo pino, en cambio, el límite entre mantillo y suelo mineral es claro y se observa una disminución de la actividad de fauna, con un menor ritmo de descomposición. La causa se encuentra en las características químico-nutritivas de la hojarasca del pino, más pobre en calcio y nitrógeno y más rica en compuestos inhibidores como resina, ceras y

lignina. Estas características y la mayor actividad fungosa en el mantillo de pino son causantes de un medio más ácido, que se proyecta en su efecto sobre el suelo mineral. En suelos de altas reservas en bases y capacidad de intercambio iónico, el efecto ácido es neutralizado en el límite mantillo/suelo mineral (Collipulli). Sin embargo, en suelos de menores reservas en bases el efecto ácido se extiende al suelo mineral superficial, pudiendo afectar a mediano plazo la fertilidad de ésta (Valdivia).

La conducta agresiva de una especie pionera como el pino radiata es probablemente adecuada para la colonización y habilitación de suelos recientes o erosionados; sin embargo, en otros suelos su efecto debe ser neutralizado con medidas silviculturales y de mejoramiento del suelo para mantener su fertilidad a mediano y largo plazo.

INTRODUCCION

Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don constituyen hoy el cultivo más extensivo en Chile, al superar una superficie de 1.300.000 ha. La especie es exótica, norma en prácticamente todos los cultivos agrícolas y forestales del país. Además es una conifera introducida en una región geográfica donde son escasas las coníferas nativas.

Las plantaciones de pino estuvieron destinadas originalmente a suelos erosionados y de dunas, extendiéndose posteriormente a terrenos cultivados por la práctica agrícola, la mayoría de aptitud forestal. Una parte menor, pero aún apreciable, de alrededor de 120.000-140.000 ha, fueron establecidas donde anteriormente existieron renoales de bosque nativo o restos del bosque nativo original explotado.

La creciente extensión de las plantaciones de pino en el país ha causado una polémica creciente sobre los efectos socioeconómicos, físicos y biológicos que esto significa. Sin embargo, son escasos los estudios que existen para precisar el efecto real de las plantaciones de pino, especialmente en los aspectos físicos y biológicos.

En base a los conocimientos existentes pueden indicarse como los puntos más críticos del efecto del cultivo sobre el medio físico y biológico, los siguientes: el balance hídrico, la diversidad biológica de la flora y fauna, la estructura y las características químico-nutritivas del suelo.

El presente trabajo se concentrará en el último punto, específicamente en los efectos químico-nutritivos del cultivo sobre el suelo.

Los resultados de estudios en sistemas forestales naturales han indicado que existen diferencias en la dinámica químico-nutritiva entre bosques de latifoliadas y coníferas, destacando el mayor nivel de calcio y nitrógeno en los tejidos vegetales de los primeros (Lutz y Chandler, 1946; Yamaya, 1968; Jenny, 1980). Estos y otros aspectos de la dinámica de bosques han motivado a desarrollar la

hipótesis: que los bosques de coníferas en general causan una mayor acidificación del suelo que los bosques de latifoliadas.

El efecto químico sobre el suelo de un bosque es el resultado del balance nutritivo de todo el ecosistema (Ulrich, Ahrens y Ulrich, 1971). Sin embargo, todo los flujos químicos se concentran en el mantillo antes de infiltrar o ser incorporados en el suelo mineral. Este compartimiento del ecosistema entonces refleja en su morfología y características la dinámica que se lleva a cabo a nivel del suelo superficial (Wittch, 1952, 1963). Esta dinámica afecta finalmente al suelo mineral, pero depende de las condiciones climáticas del sitio, la fertilidad del suelo, la composición química de los tejidos vegetales y de los organismos del suelo (Jenny, 1980; Schachtschabel *et al.*, 1984).

El estudio que aquí se analizará se concentrará en las características morfológicas y químico-nutritivas del mantillo en rodales de *Pinus radiata*, en comparación al existente bajo bosque nativo secundario, en dos sitios de diferentes condiciones climáticas y de suelo. Por esta vía se pretende contribuir a la precisión del efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* sobre el suelo mineral.

MATERIAL Y METODOS

El análisis que se presenta se fundamenta en los resultados de dos estudios efectuados en sitios diferentes y distintas épocas. Uno de ellos fue realizado en los alrededores de Valdivia¹, sobre suelos rojo arcillosos de la serie Los Ulmos, en transición a la serie Correltúe. Ambas series corresponden a suelos evolucionados, especialmente Los Ulmos, un ultisol derivado de cenizas volcánicas

¹ Investigación realizada con el apoyo de la Dirección de Investigación, Vicerrectoría Académica, Universidad Austral de Chile. 1-78-59.

plio-pleistocénicas. En el período cuaternario se desarrolló en este sitio la Selva Valdiviana de la Costa, o tipo forestal siempreverde, de la cual sin embargo sólo quedan retazos muy explotados, por causa de la explotación maderera y la habilitación de terrenos para fines agropecuarios. Actualmente extensiones importantes de estos terrenos están siendo forestados principalmente con *Pinus radiata* (Schlatter y Alcoser, 1981).

El segundo estudio² fue realizado en la precordillera de los Andes, en los alrededores de Collipulli, márgenes del río Renaico, Reserva Forestal Malleco. El clima del lugar es más cálido y presenta un período seco más prolongado que en Valdivia; los suelos corresponden a la serie Sta. Bárbara, derivados de cenizas volcánicas holocénicas, es decir, considerablemente más jóvenes que en el estudio anterior. Sobre estos suelos franco limosos se desarrolló un bosque mixto, principalmente de latifoliadas dominando la especie *Nothofagus alpina* (raulí). Actualmente los terrenos están bajo cultivos agropecuarios, con renovales espontáneos producto de la explotación y/o quema de los bosques nativos originales. Aquí también se reforestó con *Pinus radiata* en algunos sectores (Otero, Salinas y Barrales, 1992). La comparación entre *Pinus radiata* y el bosque nativo se efectuó en áreas vecinas, una con bosques de pino de más de 20 años y la otra con renovales del bosque original, ambos con edad de desarrollo similar.

La metodología permitió estudiar el mantillo de cada tipo de bosque, como expresión del efecto acumulado sobre el suelo. La selección de los rodales se efectuó considerando el grado de similitud ambiental: suelo, elevación, exposición y pendiente, posición topográfica y edad equivalente de desarrollo.

En el área de Valdivia se establecieron 6 parcelas experimentales de 25x25 m en *Pinus radiata* de 24-27 años de edad y 3 parcelas en bosque nativo secundario, de 15-35 años de edad.

En cada parcela se efectuó el siguiente procedimiento: determinación de la estructura del rodal: cobertura y densidad del estrato arbóreo, composición específica del sotobosque; descripción del mantillo y toma de muestras para su análisis morfológico y químico-nutritivo, en 9 puntos distribuidos al azar en un reticulado imaginario de 1x1 m.

El análisis detallado del mantillo en terreno en cada parcela de muestreo consideró lo siguiente: determinación de las características morfológicas del horizonte O; recolección de muestras del horizonte O, en áreas de 0.1 m², y de muestras del horizonte A para 0-2 cm de profundidad; determinaciones del número de especies e individuos de la macrofauna en el suelo mineral entre 0-15 cm de profundidad, en base a cubos de suelo de 15x15x15 cm.

Las muestras del horizonte O fueron extraídas en los bosques de *Pinus radiata* en forma de dos submuestras: O_{LF} y O_{FH}, por sus diferencias morfológicas. En bosque nativo no fue necesaria tal diferenciación.

En las nueve muestras recolectadas por parcela se determinó (Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Fac. de Ciencias Forestales, UACH): peso seco (105°C), pH_{H₂O} y PH_{KCl} 1:10 (mantillo) y 1:2.5 (suelo)

En tres muestras mezcladas de 3 en 3 se determinó: carbono total (oxidación húmeda), nitrógeno total (Kjeldahl), cenizas (incineración a 500°C), contenido de los elementos nutritivos: P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Al (extracción HCl 10%).

En el área de Collipulli se seleccionaron dos rodales vecinos, uno de *Pinus radiata* de 21 años de edad y otro de un renoval de bosque nativo, con dominancia de raulí, de alrededor de 45 años de edad. Ambos bosques se eligieron por la gran similitud de su entorno y las siguientes características estructurales: altura de los árboles y densidad. En cada uno de ellos se marcó una hectárea de bosques, la que se subdividió en 16 cuadrantes de 25x25 m, al interior de los cuales se eligieron en forma aleatoria los puntos de muestreo: 40 para pino y 48 para bosque nativo.

En cada punto se siguieron los siguientes pasos: determinación de las características morfológicas del horizonte O; recolección de material del horizonte O, en unidades de 0.1 m² y del suelo mineral en las siguientes profundidades: 0-2 cm., 2-5 cm, 5-10 cm, 10-30 cm.

En las muestras del horizonte O, mezcladas de 4 en 4, se hicieron las siguientes determinaciones (Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Fac. de Ciencias Forestales, UACH): peso seco (105°C) y porcentaje de humedad; pH_{H₂O}; contenido de cenizas (incineración a 500°C); Nt (Kjeldahl); contenidos de P, K, Ca y Mg (HCl 10%).

En los horizontes del suelo mineral se determinaron (igual al esquema anterior): pH; Ct (oxida-

² Investigación realizada por el Instituto Forestal, CORFO.

ción húmeda); Nt (Kjeldahl); elementos disponibles (acetato de amonio): P K, Ca y Mg; Capacidad de intercambio catiónico; cationes intercambiables; H, Al y Fe; porcentaje saturación de bases (calculada).

Las diferencias entre y dentro de los rodales fueron evaluadas estadísticamente mediante análisis de varianza.

RESULTADOS

CARACTERISTICAS DE LOS RODALES SELECCIONADOS

Area de Valdivia. Las características de los rodales seleccionados se entregan en el cuadro 1. De acuerdo a estos antecedentes existe cierta variación en la composición del sotobosque, el que en parcelas 1 y 2 es poco desarrollado.

Los antecedentes estructurales de estos rodales se entregan en el cuadro 2. Puede apreciarse que existe una variación importante en la densidad en los distintos rodales. Los rodales de *Pinus radiata* (=pino) no fueron intervenidos, es decir, en general no fueron sometidos a raleo. Sin embargo, en base a las demás características dimensionales pueden considerarse similares, y de densidad nor-

mal, como deducción de la cobertura. En bosque nativo, el rodal 4 está compuesto por un mayor número de individuos jóvenes, lo que explica los antecedentes distintos en su densidad y características dimensionales. La cobertura total en ellos es similar, si bien los rodales se presentan con mayor luminosidad en 3 y 8.

Los rodales de bosque nativo están constituidos principalmente por individuos que regeneran en forma simultánea con la plantación de pino. En tal sentido pueden considerarse coetáneos. En general, puede observarse que sus dimensiones estructurales indican una menor existencia, es decir, la biomasa acumulada en el suelo con seguridad es menor a la de pino.

Area de Collipulli. Las características de los rodales seleccionados en el área de Collipulli se presentan en el cuadro 3.

El rodal de renoval nativo, con 45 años de desarrollo ininterrumpido, presentó 13 especies en el sotobosque. La plantación de pino, establecida 21 años atrás, presentó 9 especies en el sotobosque. El sotobosque del renoval fue además más denso y vigoroso.

La estructura de los rodales indicados en el cuadro 3 es presentada sintéticamente en el cuadro 4.

CUADRO 1

Características de los rodales seleccionados en el área de Valdivia (variación del sotobosque).
Characteristics of selected forest stands (variation in the understory) (area of Valdivia).

Parcela N°	Exposición	Estrato arbóreo superior	Estratos inferiores
1*	E	<i>Pinus radiata</i> (=pino)	<i>Aristotelia chilensis</i> (maqui)
2*	ES	<i>Pinus radiata</i>	maqui, <i>Chusquea quila</i> (quila), <i>Rubus</i> sp. (zarzamora)
3	ES	<i>Nothofagus dombeyi</i> (coigüe), <i>N. obliqua</i> (roble) y <i>Laurelia sempervirens</i> (laurel)	<i>Aextoxicon punctatum</i> (olivillo), <i>Gevuina avellana</i> (avellana) <i>Lomatia hirsuta</i> (radal) maqui y quila
4	E	Coigüe, roble, laurel	Radal, avellano, olivillo, <i>Myrceugenella apiculata</i> (arrayán) <i>Eucryphia cordifolia</i> (ulmo)
5	E	<i>Pinus radiata</i>	Zarzamora, maqui, laurel
6	NE	<i>Pinus radiata</i>	<i>Ugni molinete</i> (murta), maqui, olivillo, zarzamora
7	NE	<i>Pinus radiata</i>	Maqui, laurel, quila, zarzamora
8	NE	Coigüe, roble	Arrayán, laurel, avellano, maqui, <i>Drymis winteri</i> (canelo);
9	NE	<i>Pinus radiata</i>	Maqui, zarzamora

* Con sotobosque de muy baja densidad.

CUADRO 2

Antecedentes estructurales de los rodales seleccionados en el área de Valdivia.
Structural characteristics of selected forest stands (area of Valdivia).

Parcela N°	Edad* (años)	Densidad N° árb./ha	Area Basal m ² /ha	DAP (cm)	Ht (m)	Cobertura %
1	27	464	50.5	36	28	90(69)**
2	27	640	65.0	37	29	77(33)
3***	15-35	688	37.3	30	22	95(75)
4	15-35	1.248	23.8	19	17	95(68)
5	27	720	66.5	34	28	88(56)
6	27	928	72.5	33	27.5	76(53)
7	24	816	54.6	28.5	27	54(29)
8***	15-35	528	37.2	33	23	97(57)
9	24	864	52.3	28	27	70(40)

* Edad del bosque secundario es un rango de edad; origen de este bosque: regeneración generativa y vegetativa (rebrote) o la sobrevivencia, luego del roce a fuego utilizado para la preparación del terreno para la plantación.

** Cobertura densa (69%).

*** Rodales con un árbol de edad > 35 años.

CUADRO 3

Características de los rodales seleccionados, área de Collipulli
Characteristics of selected forest stands (area of Collipulli).

Tipo de bosque	Exposición	Estrato arbóreo superior	Estratos restantes
Renoval nativo	SE	<i>Nothofagus obliqua</i> (roble) y <i>N. alpina</i> (raulí)	<i>Persea lingue</i> (lingue) <i>Gevuina avellana</i> (avellano) <i>Lomatia dentata</i> (avellanillo) <i>Chusquea quila</i> (quila)
Plantación de pino	SE	<i>Pinus radiata</i>	Lingue, avellano, raulí, <i>Aristotelia chilensis</i> (maqui) y quila

CUADRO 4

Características estructurales de los rodales, área de Collipulli.
Structural characteristics of forest stands (area of Collipulli).

Tipo de bosque	Edad (años)	N° árboles por ha	Area basal m ² /ha	DAP (cm)	H superior (m)	Cobertura estrato arbóreo %
Renoval	45	1.040	43.1	22.5	19.9	71
Plantación de pino	21	1.120	46.2	22.2	22.3	45.3

CUADRO 5

Características morfológicas promedio del mantillo área de Valdivia.
Average morphological characteristics of the organic horizon (area of Valdivia).

<i>Pinus radiata</i> (54 observaciones)		Bosque natural secundario (27 observaciones)	
Horizonte	Espesor (cm)	Horizonte	Espesor (cm)
O _L	3.37 + 0.26		
O _F	2.82 + 0.25		
O _H	0.85 + 0.17		
O	7.0 + 0.5 Cv = 24%	O _{L(F)} =	4.70 + 0.70 Cv = 37%
* Horizonte A en general > 10 cm de profundidad.			
Forma de humus		mull	
moder a moder mulliforme			

La cobertura del suelo es total si se consideran todos los estratos; sin embargo, en el renoval nativo se presenta una cobertura mucho más densa. La plantación de pino presenta una cobertura relativamente baja para la especie dominante, causada por daños mecánicos de consideración por nieve.

CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL PISO ORGANICO

Area de Valdivia. En el cuadro 5 se entregan las características morfológicas del mantillo bajo los distintos tipos de bosques.

El mantillo bajo pino muestra una morfología subdividida claramente entre O_L y O_F; O_H no siempre se presenta o sólo es incipiente. En conjunto presenta mayor espesor que el del renoval nativo. El mantillo de este último sólo presenta hojas y fragmentos de ramas en proceso de desintegración, pero de estructura bien reconocible (=O_L), y el O_F es sólo incipiente, no apareciendo el O_H.

La anterior morfología señala en dirección a diferencias importantes en el ritmo de descomposición de la hojarasca entre ambos bosques. Esta se refleja también en una menor actividad de fauna en el mantillo de pino en comparación al renoval nativo, materia que necesita de estudios específicos. En efecto, la menor descomposición de la hojarasca podría explicar la mayor acumulación orgánica en el mantillo bajo pino, como puede observarse en la figura 1, además de poderse infe-

rir esto desde la morfología del horizonte O. Sin embargo, no toda la materia seca indicada en figura 1 es materia orgánica, como puede observarse en la figura 2.

Parte importante del O_{F/H} del mantillo bajo pino presenta una alta incorporación de suelo mineral, producto de la acción mezcladora de la fauna del suelo. También se puede observar esto en el O_{L/F} bajo bosque nativo. Aun así la acumulación orgánica bajo pino es considerablemente mayor, y el mayor contenido de suelo mineral en el mantillo indica sobre un periodo más prolongado de entremezclamiento con suelo mineral, pero no tan dinámico y efectivo como bajo bosque nativo.

Los horizontes A fueron de >10 cm de profundidad bajo pino y bosque nativo, pero la estructura bajo este último se presentó más agregada, arraigada y porosa, lo que debiera ser analizado en estudios específicos.

Area de Collipulli. En el área de Collipulli las diferencias del mantillo no fueron tan marcadas como en Valdivia. Bajo pino se forman los horizontes O_{L/F} de 6 cm y O_{F/H} de 1 cm de espesor, en total 7 cm. En bosque nativo secundario un O_{L/F} de 5 cm y un O_{F/H} de 2 cm de espesor, en total 7 cm. Es decir, el mantillo bajo pino no presentó un mayor espesor que el renoval nativo en este sitio. Aun así existen indicios de una mayor dinámica de transformación de la hojarasca bajo el renoval nativo, en humus.

En estos bosques no se efectuaron determina-

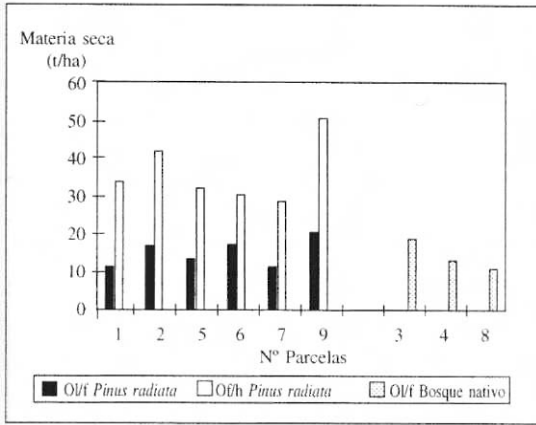


Figura 1. Cantidad de materia seca en el horizonte O bajo *Pinus radiata* y bosque nativo secundario. Quantity of dry material in the O horizon below *Pinus radiata* and secondary native forests.

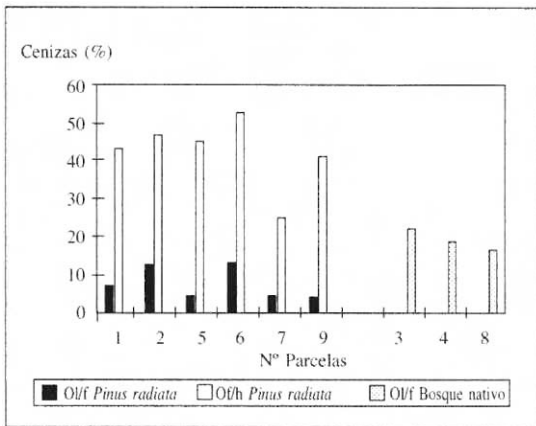


Figura 2. Contenido de cenizas en materia recolectada del horizonte O en *P. radiata* y bosque nativo secundario, área de Valdivia. Content of ash in material collected from the O horizon of *Pinus radiata* and secondary native forest (area of Valdivia).

ciones cuantitativas de la materia seca acumulada. Sin embargo, de la morfología uno puede deducir que el bosque nativo presenta una acumulación más cercana al pino en este sitio comparado al área de Valdivia. Incluso los porcentajes de ceniza y materia orgánica se aproximan mucho, como puede observarse en el cuadro 6.

Esta aproximación puede estar influenciada en parte por la participación de sotobosque de especies nativas en el rodal de pino, pero su causa debe ser otra, como se discutirá más adelante.

El horizonte A se presentó más agregado, arraigado, poroso bajo el renoval nativo, donde el límite entre el horizonte O y A es difuso. Bajo *Pinus radiata* el límite HzO/HzA es abrupto, y el suelo mineral es de estructura más compacta. Al respecto, debe tomarse en cuenta que el bosque de pino corresponde a un sitio que fue más transitado e intervenido por el hombre. De hecho, se aplicó quema hace alrededor de 40-50 años y luego antes de plantar, 22 años antes de las observaciones. Esto influye en las características del horizonte A que se presentó con mayor cantidad de carbono residual, producto de las quemadas, en su superficie. El color del suelo también presentó diferencias; el horizonte A se presentó más claro bajo pino, posiblemente por una erosión mayor del suelo en el sitio, de origen histórico. El mayor tránsito e intervención en el sitio con pino también puede deducirse desde los valores de densidad aparente del suelo. En bosque nativo la densidad aparente del suelo a 0-10 cm fluctuó entre 0.42-0.54 g/cc con un promedio de 0.49 y bajo pino entre 0.48-0.61, con un promedio de 0.57.

CUADRO 6

Porcentaje de cenizas en el mantillo y color del suelo mineral, área de Collipulli.
Percent of ash in the organic layer and color of mineral soil (area of Collipulli).

Tipo de bosque	Subhorizonte	% cenizas	% M. orgánica	Horizonte (cm)			
				Color			
				Al 0-2	Al 2-5	Al 5-10	BA 27.5-32.5
<i>P. radiata</i>	O L/F	18.7	85	10YR 3/4	10YR 3/4	10YR 3/4	10YR 3/4
	O F/H	44.2	59				
B. nativo	O L/F	12.9	93	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 3/4	10YR 4/4
	O F/H	48.1	58				

CUADRO 7

Contenidos de C, N y cenizas, relación C/N y pH en el horizonte O de *Pinus radiata* y bosque secundario, área de Valdivia

Content of C, N, and ash in the O horizon of *Pinus radiata* and secondary native forests, including the C/N ratio and pH (area of Valdivia)

Parcela N°	% Ct	Cenizas %	Nt %	C/N	pH	
					KCl	H ₂ O
O_{L/F}-Pino						
1	48.6	7.2	1.7	27	4.1	4.5
2	39.0	12.9	1.2	34	4.1	4.5
5	50.6	4.5	0.9	58	4.0	4.4
6	48.0	13.2	0.6	81	3.9	4.4
7	51.7	4.3	1.0	51	4.2	4.5
9	52.2	3.7	0.8	71	4.0	4.4
Promedio	48.4	7.6	1.0	54	4.1	4.5
B. nativo sec.						
3	36.1	22.1	1.2	31	4.4	4.8
4	39.6	18.8	1.2	33	4.6	4.9
8	41.6	16.5	0.9	49	5.1	5.4
Promedio	39.1	19.1*	1.1	38*	4.7*	5.0*
O_{F/H}-Pino						
1	30.7	44.4	1.8	17	3.7	4.5
2	24.2	47.8	1.4	18	4.1	4.5
5	29.0	45.8	0.9	31	3.8	4.3
6	24.0	55.6	0.7	33	4.1	4.6
7	37.7	25.6	1.4	27	3.9	4.3
9	30.0	41.6	0.8	42	4.1	4.6
Promedio	29.3	43.5	1.2	28	4.0	4.5

* Diferencias estadísticamente significativas.

CARACTERISTICAS QUIMICO-NUTRITIVAS DEL PISO ORGANICO.

Area de Valdivia. Las características químico-nutritivas del mantillo se pueden observar en el cuadro 7.

El contenido de carbono del mantillo depende mucho de la cantidad de suelo mineral que haya sido incorporada por bioturbación a él. Por tal motivo a nivel de subhorizonte O_{L/F}, el bosque nativo aparece con menos carbono total. Sin embargo, el alto contenido de cenizas delata que esto se debe a suelo mineral incorporado, ya que las cenizas propias de la hojarasca en bosque nativo fluctúan entre 5.5-6.5% y en pino entre 2.5-3.5%³.

El contenido de nitrógeno total (=Nt) no alcanza diferencias significativas entre ambos tipos de bos-

ques, aun cuando también pudiera estar afecto a la influencia del suelo mineral incorporado. Sin embargo, destaca la gran diferencia en la relación C/N a nivel del subhorizonte O_{L/F}. El pino presenta una relación más desfavorable en su hojarasca en general a pesar de la gran dispersión entre sus parcelas. La relación C/N disminuye bajo pino en el subhorizonte O_{F/H}, por un aumento de nitrógeno, fenómeno que fue analizado para la especie por Will (1968). Aun así la relación C/N sigue siendo alta.

Las diferencias mayores están a nivel de la reacción del suelo. El pH se presenta considerablemente más bajo en el mantillo de pino que en bosque nativo, hasta en media unidad de pH. En el cuadro 8 se amplía la información anterior.

Las diferencias más significativas se encuentran en el elemento calcio. Este elemento se presenta a niveles mayores en el mantillo del bosque nativo secundario. Los demás elementos o no presentan diferencias, o éstas son causadas por otros

³ J.E. Schlatter, datos inéditos.

CUADRO 8

Contenido de bioelementos en el horizonte O de *Pinus radiata* y bosque nativo secundario, de Valdivia.
Content of bio-elements in the O horizon of *Pinus radiata* and secondary native forests (area of Valdivia)

Parcela N°	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn
	%							
O_{L/F}-Pino								
1	0.11	0.02	0.18	0.42	0.11	0.14	0.03	0.04
2	0.07	0.02	0.13	0.33	0.09	0.20	0.05	0.03
5	0.09	0.04	0.32	0.32	0.12	0.11	0.04	0.05
6	0.05	0.02	0.19	0.20	0.08	0.06	0.04	0.03
7	0.08	0.05	0.37	0.38	0.10	0.05	0.02	0.04
9	0.06	0.02	0.23	0.27	0.08	0.04	0.01	0.05
Promedio	0.08	0.03	0.24	0.32	0.10	0.10	0.04	0.04
B. nativo sec.								
3	0.07	0.02	0.12	0.57	0.10	0.36	0.08	0.04
4	0.09	0.02	0.11	0.57	0.11	0.32	0.07	0.09
8	0.07	0.03	0.23	1.25	0.13	0.23	0.06	0.06
Promedio	0.08	0.02	0.15	0.80*	0.11	0.30*	0.07*	0.06*
O_{F/H}-Pino								
1	0.09	0.03	0.12	0.25	0.12	0.81	0.17	0.09
2	0.06	0.03	0.10	0.19	0.09	0.21	0.15	0.03
5	0.08	0.08	0.11	0.21	0.11	0.49	0.13	0.11
6	0.09	0.03	0.13	0.19	0.13	0.91	0.24	0.10
7	0.08	0.02	0.16	0.28	0.10	0.33	0.10	0.07
9	0.06	0.03	0.11	0.15	0.11	0.63	0.13	0.09
Promedio	0.08	0.04	0.12	0.21*	0.11	0.56*	0.15*	0.08*

* Diferencias estadísticamente significativas.

motivos. Así por ejemplo, el contenido de hierro, aluminio y manganeso están fuertemente influenciados por el suelo mineral incorporado al mantillo, lo que se deduce del contenido de cenizas. Es por eso que a nivel de O_{L/F} el bosque nativo presenta mayores contenidos de esos elementos, los que luego aumentan considerablemente en el O_{F/H} bajo pino, por la misma razón. En efecto, el suelo del lugar de estudio contiene elevados niveles de esos elementos (Salazar y Valenzuela, 1977).

El bajo nivel de potasio en el O_{F/H} bajo pino se debe a la alta solubilidad de este elemento (Schlatter, 1988). La tendencia, sin embargo, es que potasio se presenta en mayores cantidades en la hojarasca de pino en comparación al bosque nativo (ver O_{L/F}), aun cuando estadísticamente no se pudo asegurar con la probabilidad del 95%.

Area de Collipulli. Las características químico-nutritivas del mantillo se pueden observar en el cuadro 9.

De las cifras entregadas destaca que el pH en pino es nuevamente más bajo para el mantillo, a pesar de que las diferencias con Valdivia son notorias. En Collipulli se alcanzan diferencias de 0.2-0.3 unidades de pH, la mitad de lo que se midió en Valdivia.

Lo que sorprende es la mayor riqueza de nitrógeno que presenta el mantillo de pino. Las diferencias probablemente no sean significativas si consideramos la dispersión. El mayor contenido de cenizas en el pino puede estar indicando una descomposición más lenta y una acumulación paulatina de sustancias minerales, ya sea por sedimentación (eólica, aluvial) o bioturbación. Las diferencias en este factor se restringen al O_{L/F}, no así al O_{F/H}.

El cuadro 10 amplía la información sobre las características químicas del mantillo estudiado. Destacan en este cuadro las diferencias significativas de Ca y K a favor del bosque nativo secundario en la hojarasca. Estas diferencias, sin embargo,

desaparecen en $O_{F/H}$ (=humus). La hojarasca del bosque nativo es más rica en bases, pero estas diferencias se neutralizan al mezclarse con el suelo mineral por bioturbación y por efecto de la lixiviación del agua.

Otro factor que destaca, es la diferencia de fósforo en el subhorizonte $O_{F/H}$, el cual es más elevado en el mantillo de pino. Esto puede estar relacionado con el suelo mineral, como se verá en los siguientes resultados.

Sin duda alguna las diferencias entre pino y el bosque nativo en este sitio (Collipulli) son mucho menores que aquellas de Valdivia.

CARACTERISTICAS QUIMICO-NUTRITIVAS DEL SUELO SUPERFICIAL

Area de Valdivia. En el área de Valdivia se determinó solamente la reacción del suelo en los primeros 2 cm, inmediatamente debajo del mantillo, ya que la literatura señalaba hasta entonces que no existía efecto alguno a profundidades mayores. Los resultados obtenidos fueron que bajo pino el pH al agua presentó 5.3 (5.1-5.5) y bajo bosque nativo secundario 5.7 (5.6-6.0). En cambio, el pH-KCl presentó valores más bajos con 4.1 (4.0-4.4) bajo pino y 5.1 (4.8-5.5) bajo bosque nativo secundario. Esto queda mejor ilustrado en la figura 3.

Sin duda alguna, en este sitio, con suelos más evolucionados, el efecto químico del mantillo de pino es una mayor acidificación, tema que se discutirá más adelante.

Area de Collipulli. En el área de Collipulli se

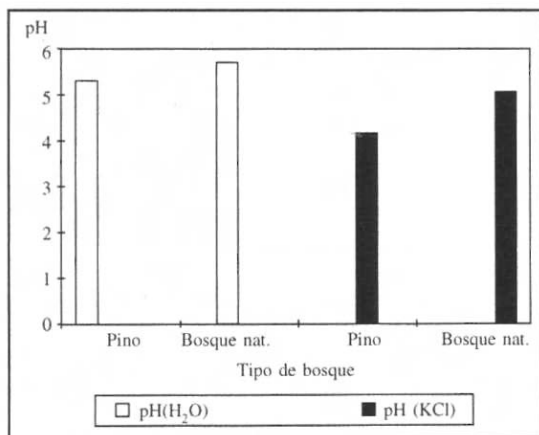


Figura 3. Reacción del suelo en los primeros 2 cm de suelo, en el área de Valdivia.
Soil reaction in the first 2 cm of soil (area of Valdivia).

amplió el estudio sobre el efecto químico en el suelo mineral a raíz de lo encontrado en Valdivia. El cuadro 11 ilustra la situación para el estrato más superficial.

En Collipulli el suelo mineral superficial prácticamente no presenta condiciones químicas diferentes bajo los tipos de bosques analizados y las que se presentan también pueden explicarse como dentro del rango de variación natural del suelo (Adams y Wilde 1976). Lo que se repite con respecto al mantillo son las diferencias en fósforo y potasio, de tal forma que puede inferirse que el suelo ha influido en el estado químico del mantillo más que éste al suelo.

Para estar más seguros de las diferencias y sus causas se analizó también el suelo entre los 2-5 cm de profundidad (cuadro 12).

En esa profundidad la selección de valores cuantitativos siguió la misma tendencia que en 0-2 cm de profundidad. No existió diferencia en el pH y las diferencias estadísticas encontradas son para los mismos elementos, con los mismos orígenes.

Entre 5-10 cm de profundidad la tendencia de las características químico-nutritivas del suelo continúan las mismas relaciones cuantitativas, sin una diferencia que pueda haberse originado como efecto de la vegetación.

ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA ACTIVIDAD DE FAUNA EN EL MANTILLO Y EL HORIZONTE A

Area de Valdivia. La tendencia general observada en el mantillo fue que bajo bosque nativo la cantidad de mesofauna observable al extraer las

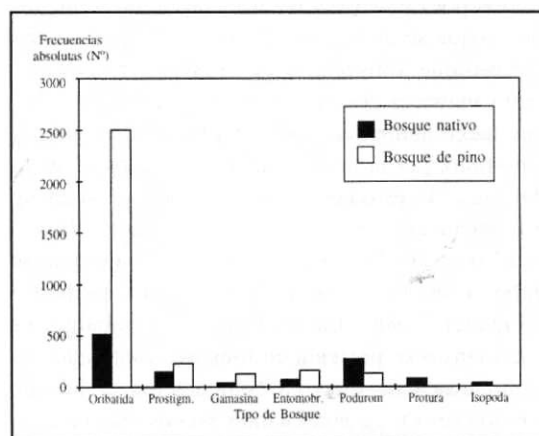


Figura 4. Frecuencias absolutas de individuos, por especie de la fauna edáfica más representativa del mantillo, área de Collipulli.
Representative soil fauna of litter (Collipulli).

CUADRO 9

Contenido de C, N y cenizas en el horizonte O de *Pinus radiata* y bosque nativo secundario y pH, área de Collipulli.

Content of C, N, and ash in the O horizon of *Pinus radiata* and secondary native forests, including pH (area of Collipulli).

Parcela N°	M.O. % (estimado)	Cenizas %	Nitrógeno %	pH	
				KCl	H ₂ O
O_{L/F}-Pino					
4	86.4	17.2	1.3	4.7	4.9
9	83.3	20.3	2.0	4.6	4.9
11	85.7	17.9	1.3	4.5	4.9
13	84.0	19.6	1.2	4.5	4.8
15	84.9	18.7	1.4	4.6	4.8
Promedio	84.9	18.7	1.4	4.6	4.9
B. nativo sec.					
1	95.2	11.0	1.1	4.9	5.1
2	93.7	12.5	1.2	4.6	5.0
7	92.4	13.8	1.1	4.8	5.1
12	93.2	13.0	1.2	4.7	4.9
13	86.9	16.7	1.3	4.9	5.1
14	94.5	11.7	1.3	4.7	4.9
Promedio	92.7	13.1*	1.2	4.8*	5.0*
O_{F/H}-Pino					
4	63.2	40.4	1.2	5.0	5.2
9	64.0	39.6	1.4	4.7	5.0
11	56.1	47.5	1.0	4.8	5.3
13	56.0	47.6	1.0	4.8	5.2
15	57.5	46.1	1.0	4.7	5.0
Promedio	59.4	44.2	1.1	4.8	5.1
B. nativo sec.					
1	55.9	50.3	1.1	5.3	5.6
2	57.8	48.4	1.1	5.0	5.2
7	56.8	49.5	1.0	5.2	5.4
12	59.5	46.7	1.0	4.9	5.2
13	58.0	48.2	1.0	5.1	5.4
14	61.3	44.9	0.8	5.0	5.2
Promedio	58.2	48.0*	1.0	5.1*	5.3*

* Diferencias estadísticamente significativas.

muestras fue mayor, pero cuantitativamente sólo se determinaron representantes de la macrofauna en el Hz A (cuadro 13).

Del cuadro 13 puede deducirse claramente que una parte importante de los organismos mezcladores en un ecosistema forestal (bioturbación) están inhibidos en la plantación, comparados con el bosque nativo. Esto explica las diferencias de agregación que se observan en el suelo mineral.

Area de Collipulli. En el área de Collipulli se

analizó sólo la mesofauna del mantillo, determinándose que de 27 especies determinadas, 21 estuvieron presentes bajo pino y 26 bajo bosque nativo. La figura 4 muestra las frecuencias absolutas de la fauna edáfica más representativa.

De la figura 4 destaca que bajo pino no existen algunas especies y otras aumentan considerablemente su número de individuos, es decir, se presenta una menor diversidad y un desequilibrio numérico.

CUADRO 10

Contenido de bioelementos en el horizonte O de *Pinus radiata* y bosque nativo secundario, área de Collipulli.
Content of bioelements in the O horizon of *Pinus radiata* and secondary native forests (area of Collipulli).

Parcela	P	Na	K	Ca	Mg
			%		
O _{L/F} -Pino					
4	0.08	<0.1	0.07	1.05	0.13
9	0.11	"	0.07	0.89	0.12
11	0.10	"	0.08	0.78	0.13
13	0.07	"	0.06	0.69	0.11
15	0.09	"	0.06	0.79	0.11
Promedio	0.09	<0.1	0.07	0.84	0.12
B. nativo sec.					
1	0.12	<0.1	0.13	1.55	0.13
2	0.09	"	0.11	1.25	0.12
7	0.08	"	0.10	1.37	0.12
12	0.08	"	0.08	1.26	0.12
13	0.08	"	0.08	1.32	0.14
14	0.07	"	0.07	1.27	0.14
Promedio	0.09	<0.1	0.10*	1.34*	0.13
O _{F/H} -Pino					
4	0.11	<0.1	0.03	1.00	0.11
9	0.11	<0.1	0.03	0.62	0.09
11	0.11	<0.1	0.03	0.51	0.09
13	0.11	0.1	0.03	0.44	0.08
15	0.11	<0.1	0.03	0.47	0.09
Promedio	0.11	<0.1	0.03	0.61	0.09
B. nativo sec.					
1	0.09	<0.1	0.03	0.52	0.09
2	0.06	<0.1	0.03	0.46	0.10
7	0.07	<0.1	0.03	0.46	0.08
12	0.08	0.1	0.04	0.53	0.10
13	0.05	<0.1	0.04	0.58	0.10
14	0.08	<0.1	0.04	0.56	0.11
Promedio	0.07	<0.1	0.04	0.52	0.10

* Diferencias estadísticamente significativas.

ACUMULACION DE RESERVAS NUTRITIVAS EN EL MANTILLO

La acumulación cuantitativa de los elementos nutritivos en el mantillo sólo se determinó en el área de Valdivia. El cuadro 14 entrega una síntesis de tal acumulación.

La menor descomposición de la hojarasca bajo pino conduce a una mayor acumulación de sus elementos integrantes. La cantidad de bioelementos

retenidos en el mantillo bajo pino es significativa si se considera el balance nutritivo general del ecosistema. Cantidades incluso menores se acumulan en el suelo, por ello las consecuencias sobre la dinámica nutritiva son de importancia. El bosque nativo secundario presenta en este sentido una dinámica mayor, incorporando más rápidamente sus reservas orgánicas y nutritivas al suelo mineral, en beneficio a su reutilización.

CUADRO 11

Características químico-nutritivas del suelo superficial (0-2 cm de profundidad), área de Collipulli.
Chemical characteristics in the first 2 cm of soil (Collipulli).

Parcela	pH		Ct	Nt	P	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe
	H ₂ O	KCl									
<i>P. radiata</i>											
4	5.9	5.0	13	0.68	4	21	75	3385	216	1325	248
9	5.4	4.6	15	1.36	7	13	74	1335	141	1695	232
11	5.5	4.8	14	0.80	8	14	91	1485	140	1565	244
13	5.5	4.7	13	0.72	9	16	91	1105	117	1635	244
15	5.3	4.6	15	0.81	6	27	77	1250	126	1585	195
Promedio	5.5	4.7	14	0.87	7	18	82	1712	148	1.561	233
C/N = 16											
Bosque nativo											
1	5.8	4.8	14	0.83	5	26	127	2170	242	1400	189
5	5.5	4.6	16	0.84	4	28	110	1090	171	1920	223
7	5.7	4.8	13	0.67	3	62	106	1106	176	1669	185
12	5.5	4.5	17	0.90	3	36	130	1035	191	2195	233
13	5.6	4.7	15	0.82	3	34	140	1795	249	1575	203
14	5.3	4.5	14	0.65	2	32	132	800	165	1675	220
Promedio	5.6	4.7	15	0.79	3	32	124	1333	199	1739	209
C/N = 19											

CUADRO 12

Características químico-nutritivas del suelo mineral (2-5 cm de profundidad), área de Collipulli.
Chemical characteristics in the 2-5 cm of soil layer (Collipulli).

Parcela	pH		Ct	Nt	P	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe
	H ₂ O	KCl									
<i>P. radiata</i>											
4	5.7	4.9	11.5	0.59	3.4	17	57	534	67	1940	166
9	5.4	4.8	13.5	0.83	2.2	20	70	1300	126	1500	171
11	5.5	4.8	12.6	0.75	6.0	15	71	696	69	1680	189
13	5.4	4.8	22.5	0.69	4.3	16	75	346	42	1810	211
15	5.3	4.7	12.8	0.76	3.5	13	70	840	75	1820	147
Promedio	5.5	4.8	14.6	0.72	3.9	16	69	743	76	1750	177
Bosque nativo											
1	5.7	4.8	7.6	0.70	3.0	31	96	568	105	2070	210
5	5.5	4.6	8.6	0.69	2.2	26	91	386	82	2340	197
7	5.7	4.9	12.5	0.57	1.1	19	93	466	93	2150	189
12	5.5	4.6	12.3	0.72	0.4	24	86	250	66	2450	187
13	5.6	4.7	10.0	0.69	0.5	25	98	447	101	2120	170
14	5.5	4.6	11.2	0.55	0.3	30	102	214	65	2340	234
Promedio	5.6	4.7	10.4	0.65	1.3*	26*	94*	389	85	2245*	198

* Diferencias estadísticamente significativas.

CUADRO 13

Número de algunos ejemplares de la macrofauna en el horizonte A, área de Valdivia.
 Macrofauna in the A horizon (Valdivia)

Valor cuantitativo N°/ha	Tipo de organismo*	<i>Pinus radiata</i> (54 observaciones)	Bosque nativo secundario (27 observaciones)
	lumbrícidos **	20 - 35	73 - 129
	larvas de artrópodos ***	55 - 98	78 - 138

* Especies no identificadas.

** El tamaño de los individuos fue muy diferente, generalmente pequeños bajo pino y grandes y bien desarrollados bajo bosque nativo.

*** En estos organismos no hubo diferencia de tamaño entre tipos de bosque.

CUADRO 14

Cantidad (kg/ha) de bioelementos acumulados en el horizonte O, área de Valdivia.
 Bioelements (kg/ha) in the O horizon (Valdivia)

Parc. N°	(Kg/ha)									
	C	N	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al
<i>Pinus radiata</i>										
1	15.850	800	42	14	59	133	53	290	36	610
2	16.980	780	35	18	66	137	53	123	19	704
5	16.140	427	38	16	76	111	50	172	41	471
6	15.590	332	34	11	72	92	53	286	35	794
7	16.530	518	32	10	72	122	40	98	24	289
9	25.810	543	42	20	105	132	72	326	54	660
Promedio	17.820	567	37	15	75	121	53	216	35	588
Bosque nativo secundario										
3	6.760	220	14	4	21	107	19	67	7	150
4	5.250	161	11	3	15	76	14	43	13	87
8	4.530	94	8	3	25	136	15	25	7	66
Promedio	5.520	158	11	3	20	106	16	45	9	100

DISCUSION Y CONCLUSIONES

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL BOSQUE. Todos los rodales de pino considerados en este estudio fueron de primera rotación, sin raleos o solamente muy suaves. En el área de Valdivia estos bosques pueden considerarse de densidad normal. Los rodales de bosque nativo presentan un desarrollo comparable al pino aun cuando tu-

vieron más edad. También en Collipulli los bosques naturales presentaron cobertura completa; sin embargo, las plantaciones de pino fueron de menor crecimiento en relación a su edad y presentaron daños por nieve y menor temperatura, dando como resultado una menor cobertura a la esperada. Como consecuencia, el sotobosque estuvo constituido por numerosas especies nativas, de una densidad superior a la observada en los rodales de

pino de Valdivia. Esto tuvo efectos en las características de la hojarasca, como se verá más adelante.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL MANTILLO. Bajo las plantaciones de pino se formó, para las dos áreas consideradas, un mantillo de similar espesor y estructura. No así bajo bosque nativo, donde en Valdivia se midió un mantillo de menor espesor y de diferente estructura al de Collipulli. Esta diferencia entre rodales de especies nativas, sin embargo, no fue originada por la composición o estructura del bosque, sino que por causas climáticas. En Collipulli el clima es más riguroso, con efectos restrictivos sobre la actividad de los organismos del suelo, responsables de la descomposición orgánica.

A pesar de lo anterior, el mantillo bajo bosque nativo presentó una buena gradualidad o integración con el suelo mineral, dando origen a un mull en Valdivia y a un moder mulliforme en Collipulli. En las plantaciones de pino el mantillo presentó un límite bien diferenciable con el suelo mineral, de menor gradualidad e integración. Sin embargo, por su estructura suelta y su morfología pueden definirse sus formas de humus como moder en Valdivia y moder mulliforme en Collipulli.

En Collipulli las diferencias morfológicas y estructurales del mantillo entre pino y bosque nativo fueron menos pronunciadas, pero claras. Ambos bosques presentaron la misma forma de humus, pero bajo bosque nativo fue más notoria la formación de humus y mejor la integración con el suelo mineral. Las diferencias menores observadas en Collipulli pueden explicarse por la estructura del bosque de pino, cuya mezcla con especies nativas es considerable; también por el efecto del suelo y su régimen nutritivo, como se analizará más adelante.

En Valdivia las diferencias del mantillo entre ambos tipos de bosques fueron pronunciadas. Aquel bajo plantaciones de pino presentó un mayor espesor y una morfología donde se identificaron tres horizontes húmicos bien diferenciados: O_L , O_F y O_H , si bien este último fue menos pronunciado. En bosque nativo, en cambio, se formó un típico mull, con un O_L bien diferenciable y un O_F sólo incipiente, cuya descomposición puede ser estimada en un período entre 1-3 años (Riveros y Alberdi, 1978; Becker, 1981). El mantillo bajo pino presenta una dinámica de descomposición mucho más limitada, probablemente sobre 10 años, y cuyas causas se discutirán más adelante.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-NUTRITIVAS DEL MANTILLO. En Valdivia las características químico-nutritivas del mantillo bajo *Pinus radiata* presentaron diferencias significativas con aquel bajo bosque nativo, destacando el contenido de calcio. Este elemento se presenta dos o tres veces más alto, bajo bosque nativo. También magnesio y nitrógeno tienden a ser mayores en bosque nativo, lo que sin embargo no fue estadísticamente sustentable. Consecuencia de ello, el pH es considerablemente más ácido en el mantillo del pino y la relación C/N más amplia.

El nivel de calcio y la relación C/N son factores determinantes en la descomposición de los desechos orgánicos, por ello puede inferirse que éstos son causantes importantes de la menor dinámica del mantillo bajo pino.

Las diferencias en el contenido de aluminio, hierro y manganeso no son atribuibles a diferencias de los contenidos en la hojarasca, sino al efecto del suelo mineral, incorporado por bioturbación, tanto en bosque nativo como también en pino.

El menor pH medido en el mantillo de pino puede explicarse en parte por el menor contenido de calcio, pero también otros factores deben influir: compuestos orgánicos complejos como la resina. La composición orgánica de los tejidos de coníferas presenta una mayor proporción de tales compuestos (Schachtschabel *et al.*, 1984), e inhiben la actividad de la fauna, para favorecer la flora fungosa. Esto tiene consecuencias en los productos que se forman en la descomposición, cuyo efecto influye el pH.

En el área de Collipulli las diferencias entre pino y bosque nativo son mucho menores. Aun así destaca también la diferencia de calcio en la hojarasca ($O_{L/F}$); en cambio, no existe una diferencia clara en los demás elementos, y la de potasio debe considerarse como consecuencia de la mayor oferta del elemento en el suelo con bosque nativo, como se observa en las características nutritivas del suelo mineral. Las características propias de la hojarasca de pino tienen también un efecto en el pH, el cual es más ácido.

Un menor pH también se pudo medir en el humus ($O_{F/H}$), a pesar de presentar similar nivel de calcio con el del bosque nativo. Por tal motivo su origen debe encontrarse en otros factores, indicados en el análisis efectuado para el área de Valdivia.

Al comparar el mantillo de pino entre las áreas de Valdivia y Collipulli, se destacan en este último los mayores niveles de calcio y nitrógeno y su

menor nivel de potasio. La causa de estos valores debe encontrarse en las diferencias de la oferta del suelo en esos elementos.

CARACTERISTICAS QUIMICO-NUTRITIVAS DEL SUELO MINERAL. En el área de Valdivia sólo se determinó el pH del suelo a 0-2 cm de profundidad, con claras diferencias entre pino y bosque nativo. La presión acidificante del mantillo sobre el suelo es significativamente mayor en pino que bajo bosque nativo.

En el área de Collipulli esto fue aparentemente distinto. En este sitio no hubo diferencias detectables de pH en el suelo mineral. Esto tiene explicación por el mayor nivel de calcio intercambiable en el suelo de cenizas volcánicas holocénicas, comparado con el del suelo rojo arcilloso, más evolucionado de Valdivia. En efecto, según Grez (1977), como también Sadzawka y Carrasco (1985), los suelos de cenizas volcánicas más jóvenes presentan en general mayores reservas de bases que suelos más evolucionados como los rojo arcillosos. Esto explica el por qué en Collipulli el mayor efecto de acidificación del pino sea neutralizado a nivel del humus ($O_{F/H}$), donde por bioturbación se ha incorporado alrededor de 40% de suelo mineral.

Las diferencias en los demás elementos, entre los dos tipos de bosques de Collipulli, se explican por los distintos niveles presentes en el suelo, producto de la variación natural dentro de una misma serie de suelo (Adams y Wilde 1976).

Lo anteriormente discutido explica por qué estudios anteriores (Haro, Fernández y Rocuant, 1973; Peña, Fernández y Rocuant, 1976; Bocic, Fernández y Rocuant, 1976) no detectaron un cambio de pH en el suelo mineral bajo pino entre los 0-15 cm de profundidad. A pesar de ello, Peña, Fernández y Rocuant (1976) determinaron que con los años la saturación de bases disminuía en arenales bajo rodales de pino, en los primeros 20 cm del suelo.

CARACTERISTICAS DE LA FAUNA DEL SUELO. Los estudios de fauna, a pesar de que sólo fueron parciales, muestran tendencias bien diferenciables. Es así como a nivel del mantillo se detectó que en comparación al bosque nativo, en pino disminuye el número de especies presentes, aun cuando en forma moderada y similar a estudios anteriores en Valdivia (Saiz y Dicastro, 1971). En realidad, según estos autores disminuyen muy poco las especies,

al contrario a lo observado en praderas con pastoreo o cultivos agrícolas. Aun así, el cambio de diversidad trae consigo una distribución distinta de frecuencias de individuos por especie, que señala en dirección a un cambio en el equilibrio biológico.

A nivel del suelo se detectó un cambio más pronunciado de la macro y microfauna. El presente estudio determinó que el número de lombrices se reduce en un 75% y el de larvas de artrópodos en un 30% en los primeros 15 cm del suelo mineral bajo pino, en comparación al bosque nativo secundario. Estas diferencias se agravan si se pondera el tamaño o la biomasa de las lombrices, que son mucho más pequeñas en el suelo bajo pino. Esto indica que los procesos de bioturbación y, en consecuencia, agregación del suelo mineral con la materia orgánica, son considerablemente restringidos en las plantaciones de pino. Por otra parte, Franz (1971) determinó para los alrededores de Valdivia, que también disminuye pronunciadamente la flora bacteriana del suelo bajo pino, favoreciéndose en cambio la flora fungosa, con consecuencias en la dinámica de la descomposición y sus efectos.

Los cambios indicados explican la menor rapidez de descomposición que se observa en el mantillo de *Pinus radiata* y, por lo tanto, la acumulación de la materia orgánica y elementos nutritivos sobre el suelo en estas plantaciones. Esta causa se ratifica aun más considerando que según Becker (1981), Huber, Schlatter y Oyarzún (1986) y Huber y Schlatter (1990), los niveles de producción de hojarasca son mayores en bosque nativo que en plantaciones de pino, en una relación de 3:2.

ANALISIS FINAL

La integración de los dos estudios originales para estructurar el presente trabajo permitió ampliar el espectro de datos con el objetivo de precisar la comparación entre plantaciones de pino y bosque nativo secundario. En efecto, se pudo determinar que existen variaciones importantes entre sitios de condiciones diferentes, como son el área de Collipulli (550-600 m s.n.m.), con suelos de cenizas volcánicas holocénicas y el área de Valdivia (10-150 m s.n.m.), con suelos rojo arcillosos, también de origen volcánico pero más antiguos.

Las plantaciones de pino fueron diferentes en su crecimiento y en su estructura, pero no tanto así en la morfología y características del mantillo.

El bosque nativo secundario presentó algunas diferencias de composición específica, pero fue de estructura semejante. En cambio, la morfología de su mantillo fue distinta en ambos sitios. El clima más riguroso a 500-600 m s.n.m. restringe la actividad de la fauna, dando origen a una forma de humus del tipo moder, en comparación al mull que se presenta en el sitio de Valdivia.

El mantillo bajo bosque nativo presenta una mayor diversidad de especies componentes de la fauna del suelo y una mayor riqueza de calcio y/o mejor relación C/N, lo que favorece la descomposición.

El mantillo bajo pino, en cambio, muestra una estructura morfológica que indica que los procesos de descomposición son inhibidos. En parte se debe a su menor nivel de Ca y mayor relación C/N. Pero también debe encontrarse la causa en la composición orgánica de los tejidos del pino, más ricos en resina, grasas y lignina. Por otra parte, Gadgil y Gadgil (1975) demostraron que un factor inhibidor importante son las micorrizas simbiotes del pino, las que tienen un efecto bactericida.

Carey, Hunter y Andrew (1982) determinaron, en Nueva Zelanda, que el mantillo de pino en caso de no quemarse o extraerse sigue acumulando desechos orgánicos en la segunda rotación, ratificando así una fuerte inhibición de su descomposición. Este desarrollo implica una importante presión de acidificación sobre el suelo con un efecto negativo en la situación químico-nutritiva del suelo superficial. En efecto, la disminución de bases en el complejo de intercambio favorece la fijación de fósforo y una menor disponibilidad de algunos elementos nutritivos esenciales como el magnesio y el potasio. Por otro lado, la acumulación de importantes cantidades de elementos nutritivos no disponibles en el mantillo, principalmente nitrógeno, afecta su abastecimiento adecuado a los vegetales. Este proceso puede ser neutralizado en suelos de altas reservas en bases y con capacidad de intercambio catiónico elevado; sin embargo, en suelos limitados en estas características y propiedades puede verse afectada en forma importante su fertilidad.

Es fundamental entonces realizar investigaciones al respecto para precisar las relaciones causales aquí señaladas y así desarrollar métodos que permitan neutralizar eventuales efectos negativos sobre la fertilidad del suelo.

En un análisis anterior Schlatter (1977) determinó que como especie pionera *Pinus radiata* pue-

de recuperar suelos de dunas o suelos erosionados, mejorando su fertilidad y acondicionando el sitio para otras especies. Sin embargo, su cultivo masivo exige que se logre un adecuado dominio de la dinámica biogeoquímica en sus plantaciones.

Los mismos autores anteriores, Carey, Hunter y Andrew (1982), pudieron determinar que existen cambios favorables si las plantaciones son manejadas con menor densidad, permitiendo el desarrollo simultáneo de otras especies naturales o culturales en el mismo sitio. Esto evita una acumulación exagerada de tejidos orgánicos de pino y favorece la descomposición. Se permite un mejor equilibrio microclimático y biológico, que junto a medidas como la fertilización mineral y la preparación física del suelo, pueden aportar a la neutralización de los efectos aquí señalados, o incluso mejorar la recuperación de suelos erosionados. Estos esfuerzos son necesarios y convenientes, pues las plantaciones de pino son de fundamental importancia para el país.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, J.A., R.H. WILDE. 1976. "Variability within a soil mapping unit mapped at the soil type level in the Wanganui district. II Chemical Variation", *N.Z. Journal of Agricultural Research* 19: 435-42.
- BECKER, J. 1981. *Estudio de producción de litter en bosques latifoliados del sur de Chile*. Tesis, Fac. Cienc. For., Univ. Austral de Chile, Valdivia, 181 pp.
- BOCIC, P., B. FERNANDEZ, L. ROCUANT. 1976. Efectos de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. III Suelos serie Santa Bárbara. Bol. Téc. N° 59, Depto. Suelos, Esc. Agronomía. Univ. de Concepción, 68 pp.
- CAREY, M.L., I.R. HUNTER, I. ANDREW. 1982. "*Pinus radiata* forest floors: factors affecting organic matter and nutrient dynamics", *N.Z. J. of For. Sci.* 12(1): 36-48.
- FRANZ, G. 1971. "Mikrobiologische charakterisierung einiger natürlicher und kultivierter Standorte in drei verschiedenen ökologischen Regionen Chiles", *Plant and Soil* (34): 133-158.
- GADGIL, R.L., P.D. GADGIL. 1975. "Suppression of litter decomposition by mycorrhizal roots of *Pinus radiata*". *N.Z. J. of For. Sci.* 5(1): 33-41.
- GREZ, R. 1977. *Nährelementhaushalt und Genese von Böden aus vulkanischen Aschen in Südchile*. Heft 6, Furb. Bdkl. Abhlg., Inst. für Bdh. v. Walden., Univ. Freiburg; Bv., Alemania, 177 pp.
- HARO, F., B. FERNANDEZ, L. ROCUANT. 1973. Efectos de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. I Suelos Constitución y complejo Constitución-Curanipe. Bol. Téc. N° 38, Depto. Suelos, Esc. Agronomía Univ. de Concepción. Chile, 45 pp.
- HUBER, A., J.E. SCHLATTER, C. OYARZUN. 1986. "Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*". *Bosque* 7(2): 59-64.
- HUBER, A., J.E. SCHLATTER. 1990. "Aporte de elementos nutritivos por la hojarasca en un bosque nativo de la zona

- de Valdivia". En: *Actas del VI Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo*, Soc. Ch. de la Cienc. del Suelo, Fac. Cienc. Agrop., Univ. de la Frontera, Temuco, Chile: 44-49.
- JENNY, H. 1980. *The Soil Resource. Origin and Behavior, Ecological Studies* 37. Springer Verlag.
- LUTZ, H.J., R.F. CHANDLER. 1946. *Forest soils*. Ed. John Wiley & Sons. Inc. 514 pp.
- OTERO, L., J. SALINAS, L. BARRALES. 1992. Análisis de los efectos ambientales de reemplazo de bosque nativo por plantaciones. Informe interno, Inst. Forestal, CORFO.
- PEÑA, S., B. FERNANDEZ, L. ROCUANT. 1976. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. II Suelos serie Arenales. Bol. Téc. N° 58, Dpto. de Suelos, Esc. Agronomía, Univ. de Concepción, 39 pp.
- RIVEROS, M., M. ALBERDI. 1978. "Acumulación de hojarasca en un bosque de olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) del fundo San Martín, Valdivia, Chile", *Bosque* 2(2): 72-82.
- SADZAWKA, M.A., M.A. CARRASCO. 1985. "Química de los suelos volcánicos", *Suelos volcánicos de Chile*. INIA, Min. Agric., Santiago, Chile, pp. 337-432.
- SAIZ, F., F. DI CASTRI. 1971. "La fauna de terrenos naturales e intervenidos en la región valdiviana de Chile", *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat.* (32): 5-16. Ministerio de Educación, Santiago, Chile.
- SALAZAR, J., R. VALENZUELA. 1977. *Elaboración de un mapa de suelos para un predio forestal*. Tesis, Fac. Cienc. For., Univ. Austral de Chile, 89 pp.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.P. BLUME, K.H. HARTGE, U. SCHWERTMANN. 1984. *Lehrbuch der Bodenkunde*. II Auflage F. Enke Verlag, Stuttgart, Alemania, 442 pp.
- SCHLATTER, J.E. 1977. "La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile Central, análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo", *Bosque* 2(1): 12-31.
- SCHLATTER, J.E., M. ALCOSER. 1981. "Incidencia de las características del piso orgánico de *Pinus radiata* en el manejo de sus plantaciones", En: *Actas del 3er. Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo*. Fac. de Agron., Pont. Univ. Católica de Chile.
- SCHLATTER, J.E. 1988. "Información sobre el elemento nutritivo potasio en el sector forestal nacional", *Bol. Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo*. 8: 123-148.
- ULRICH, B., E. AHRENS, M. ULRICH. 1971. "Soil chemical differences between beech and spruce sites, an example of the methods used", *Integrated Exp. Ecology, Ecological Studies* 2, edit. H. Ellenberg, Springer Verlag, F. Alemania, pp. 171-190.
- WITTICH, W. 1952. *Der heutige Stand unseres Wissens von Humus und neue Wege zur Lösung des Rohumusproblems in Walde. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*. Bol. 4.
- WITTICH, W. 1963. *Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfauna unter Nadelwald für Streuzersetzung, Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, Bol. 30.