



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias
Escuela de Ciencias

PROFESOR PATROCINANTE
ROBERTO GODOY BORQUEZ
INSTITUTO DE BOTANICA
FACULTAD DE CIENCIAS

**Mineralización de N en bosque de *Nothofagus alpina* (P. et E) Oerst.
con manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.**

Tesis de Grado presentada como
parte de los requisitos para optar al
**Grado de Licenciado en Ciencias
Biológicas.**

EVELYN PADILLA OYARZUN
VALDIVIA – CHILE
2006

A mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Roberto Godoy, por su colaboración en mi formación científica, las oportunas observaciones realizadas a mi trabajo y el apoyo en la elaboración de mi tesis.

Agradezco a la Mg .Mónica Barrientos por la colaboración y enseñanza en las actividades de laboratorio.

Agradezco al proyecto Fondecyt N° 1050313 que hizo posible el financiamiento para la ejecución de mi tesis.

Agradezco el apoyo incondicional de mis padres durante todos estos años de estudio.

INDICE DE CONTENIDOS

	Página
1 RESUMEN	1
1.1 SUMMARY	2
2 INTRODUCCION	3
3 MATERIAL Y METODOS	7
3.1 Area de estudio	7
3.2 Características edafoclimáticas	8
3.3 Caracterización de las parcelas experimentales	11
3.4 Estimación de biomasa en la hojarasca y estimación total y fraccionamiento de mantillo.	17
3.5 Mineralización de nitrógeno	19
3.6 Análisis estadísticos	22
4 RESULTADOS	23
5 DISCUSION	33
6 LITERATURA CITADA	39
7 ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Ubicación área de estudio (predio San Pablo de Tregua) en la comuna de Panguipulli, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	7
Figura 2: Area de estudio en el predio San Pablo de Tregua, detalle de las microcuencas experimentales de bosques de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	12
Figura 3: Colectores de hojarasca, instalados en las parcelas experimentales del bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile. A: Aspecto general del colector; B: Aspecto superficial del colector	17
Figura 4: Tubos de incubación <i>in situ</i> , instalados en las parcelas experimentales del bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	19
Figura 5: Aporte mensual y anual de hojarasca para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	24
Figura 6: Contenidos de nutrientes en la hojarasca para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	25

- Figura 7: Estimación del total y fraccionamiento en los distintos horizontes orgánicos (Oa, Ob, Oc y Od) de mantillo, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile. 27
- Figura 8: Montos de amonificación, nitrificación y mineralización neta de nitrógeno para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile. 30
- Figura 9: Variables microclimáticas: precipitación, temperaturas mínimas, medias y máximas del suelo y para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile. 32

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Inventario fitosociológico para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	13
Cuadro 2: Inventario fitosociológico para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	14
Cuadro 3: Características dasométricas de las parcelas experimentales, para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	15
Cuadro 4: Características químicas del suelo, para el bosque de <i>Nothofagus alpina</i> con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.	16

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Aporte mensual y anual de hojarasca (kg ha-1 año-1) para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Anexo 2: Contenidos de nutrientes en la hojarasca (kg ha-1 año-1) para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Anexo 3: Estimación total y fraccionamiento

1. RESUMEN

En los bosques templados del sur de Chile, que presentan un bajo aporte de nitrógeno atmosférico, el ciclaje interno vía mineralización de la materia orgánica, es la principal fuente de nutrientes en el ecosistema.

El manejo silvícola selectivo en un bosque de *Nothofagus* del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, altera la circulación de nutrientes modificando el aporte de materia orgánica al suelo y consecuentemente su disponibilidad para el proceso de mineralización.

Se pretende establecer la variabilidad en los aportes de hojarasca, estimación de mantillo y en las tasas de N-min, para evaluar la influencia del manejo silvícola, en la disponibilidad potencial de materia orgánica para el proceso de N-min, en un bosque de *N. alpina* con y sin manejo silvícola, en la Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Los aportes anuales de hojarasca fueron de 4,5 y 4,4 ton ha⁻¹ año⁻¹, y la estimación total de mantillo fluctúa entre 110,13 y 48,39 ton ha⁻¹ para el bosque de *N. alpina* con y sin manejo silvícola. Los contenidos de nutrientes varían en la hojarasca con: N = 56,07 – 54,47, P = 3,29 – 2,83 y K = 5,78 – 6,80 kg ha⁻¹ año⁻¹ para *N. alpina* con y sin manejo silvícola, para cada bosque. Los montos anuales de la N –NH₄ son de 2,04 – 3,71, N-NO₃ 2,40 – 0,30 y N-min 4,44 – 4,01 mg N kg⁻¹s.s año⁻¹, para *N. alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente.

Cuatro años post-manejo las tasas de N-min entre los bosques no presentan diferencias significativas lo que es atribuido a una rápida capacidad de recuperación de nutrientes en el suelo, asociada a los efectos poco invasores del manejo realizado y a los similares aportes de materia orgánica disponible para la descomposición.

1.1 SUMMARY

In the temperate forests of southern Chile, which present a low atmospheric nitrogen input, the internal cycle via mineralization of the organic matter, is the main source of nutrients in the ecosystem. The selective silvicultural management in a *Nothofagus* forest of the forest type Roble - Raulí - Coigüe, consequently alters the circulation of nutrients modifying the contribution of organic matter to the ground and its availability for the mineralization process. It is tried to establish the variability in the contributions of litter, estimation of litter layer and in the rates of N-min, to evaluate the influence of the silvicultural management, in the potential availability of organic matter for the process of N-min, in a forest of *N. alpina* with and without silvicultural management, in the Mountain range of the Andes, of South of Chile. The annual litters input were of 4.5 - 4.4 ton ha⁻¹ year⁻¹, and the total estimation of litter layer fluctuates between 110.13 - 48.39 ton ha⁻¹ for the *N.alpina* forest of with and without silvicultural management. The nutrient contents vary in litter with: N = 56.07 - 54.47, P = 3.29 - 2.83 and K = 5.78 - 6.80 kg ha⁻¹ year⁻¹ for *N. alpina* with and without silvicultural management, for each forest. The annual amounts of the N - NH₄ 2.04 - 3.71, N-NO₃ 2.40 - 0.30 and N-min 4.44 - 4.01 mg N kg⁻¹s.s year⁻¹, for *N.alpina* with and without silvicultural management, respectively. Four years post-management the rates of N-min between the forests do not present significant differences attributed to a fast capacity of recovery of nutrients in the ground, associated to the little invading effects of the employed management and to the similar contributions of organic matter available for the descomposition.

2. INTRODUCCION

El ingreso de nutrientes al ecosistema ocurre principalmente a través de la atmósfera vía depositación seca y húmeda, por fijación biológica activa (CO_2 y N) y meteorización del material parental contribuyendo en forma importante al ciclo biogeoquímico (Oyarzún *et al.*, 2002)

El nitrógeno es un elemento limitante para la productividad de los bosques templados del sur de Chile, siendo esto de gran relevancia considerando que antecedentes sobre los constituyentes químicos de las precipitaciones, realizados en el sur de Chile, han señalado que reflejarían una de las aproximaciones más cercanas a condiciones preindustriales del mundo y en consecuencia los ingresos atmosféricos son extraordinariamente bajos (Oyarzún *et al.*, 2002).

Los bosques templados del sur de Chile son caracterizados por tener una gran complejidad estructural y diversidad biológica, que debido a las prácticas de degradación han originado una conversión de bosques adultos a secundarios manejados que conduce a una alteración del ciclo de nutrientes de estos ecosistemas.

La caída de hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas hacia el suelo (Vitousek *et al.* 1994). La calidad de ésta afecta la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora, por lo tanto es un factor importante que controla las tasas de descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (Schlatter *et al.*, 2006).

La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico conocido como mantillo (Schlatter *et al.*, 2003). Este estrato cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura, humedad y lixiviación, también actúa como reservorio de nutrientes y refugio para la biota.

En bosques templados de crecimiento secundario que han sido originados por prácticas silviculturales o por alteraciones naturales conducen inevitablemente a una reducción del capital de biomasa y necromasa sobre el suelo modificando el retorno de elementos nutritivos por descomposición y mineralización de las sustancias orgánicas liberadas al suelo, como así mismo un sustrato relevante para el desarrollo de la regeneración en el bosque.

La mineralización de la materia orgánica, es sin duda un proceso indispensable para generar la disponibilidad de nutrientes necesarios para la biota y en especial para las especies vegetales (Steubing *et al.*, 2002). La mineralización neta del nitrógeno depende esencialmente de la cantidad y calidad de la materia orgánica y la influencia del medio ambiente en la actividad biológica del suelo. Por lo tanto, una intervención silvicultural altera la circulación de nutrientes en el ecosistema, ya que modifica el aporte de materia orgánica por parte del bosque y las condiciones microclimáticas, que tienen una directa influencia en la actividad biológica del suelo.

En este trabajo se plantea como hipótesis que el manejo silvícola selectivo en un bosque de *Nothofagus* del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, modifica la circulación de

nutrientes modificando el aporte de materia orgánica al suelo y consecuentemente, su disponibilidad para el proceso de mineralización.

El objetivo general del presente estudio es establecer la variabilidad temporal de hojarasca, mantillo y las tasas de N-min (mineralización de nitrógeno), para evaluar la influencia del manejo silvícola, en la disponibilidad potencial de materia orgánica, para el proceso de mineralización en un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola en la Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Objetivos específicos:

- Cuantificar mensualmente los aportes de hojarasca en un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, para un período anual.
- Estimar el retorno anual de nutrientes vía hojarasca (N, P, K, Ca y Mg) en un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola.
- Estimar cuantitativamente el aporte total y el fraccionamiento en los distintos horizontes orgánicos en el mantillo (Oa, Ob, Oc y Od), para un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola.

- Monitorear factores microclimáticos como precipitación, temperatura del suelo, para evaluar su correlación con las tasas de N-NH_4 , N-NO_3 y N-N_{min} , para un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola.
- Establecer la variabilidad temporal (mensual, estacional y anual) en las tasas de N-min en un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola.

3. MATERIAL Y METODOS

3.1 Area de estudio

El área corresponde al predio San Pablo de Tregua $39^{\circ} 30' - 39^{\circ} 38'$ de latitud sur, y $72^{\circ} 02' - 72^{\circ} 09'$ de longitud oeste, y a altitudes entre los 550 y 1600 ms.n.m. aproximadamente. Se localiza a 24 km de la comuna de Panguipulli, en la precordillera de la provincia de Valdivia, X Región de los Lagos (Figura 1).

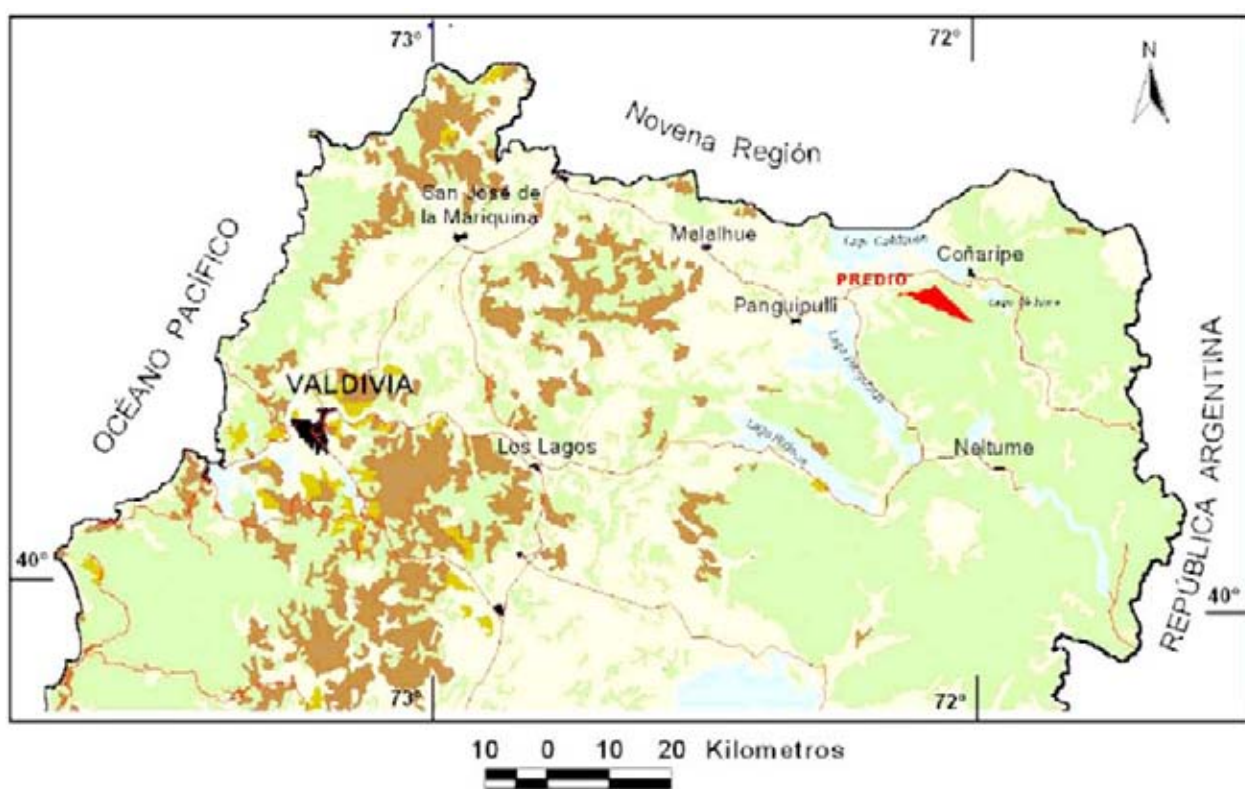



Figura 1: Ubicación área de estudio, predio San Pablo de Tregua () en la comuna de Panguipulli, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

3.2 Características edafoclimáticas

El clima se clasifica según el sistema Köppen como un clima oceánico, con una leve influencia mediterránea (Neira, 2005), presentando veranos cortos y secos, e inviernos húmedos. La zona se caracteriza por una alta pluviosidad anual entre 4000 y 5000 mm al año, sobre los 1000 m.s.n.m. en invierno se presentan precipitaciones en forma de nieve, presentando una temperatura media anual de 11 °C. En invierno se presentan mayoritariamente vientos de origen norte, mientras que para la época estival se presentan los vientos sur y sudoeste.

Los suelos son derivados de cenizas volcánicas con un estrato pronunciado de pumicita meteorizada, sedimentada sobre rocas andesíticas-basálticas (Schlatter, 1975). Más del 90% se encuentra clasificado dentro de la serie Liquiñe, con dos variantes, serie Liquiñe (LÑE-F, suelos excesivamente drenados y más del 30% de pendiente compleja) y (LÑE-E, suelos bien drenados y 15-30 % de pendiente compleja). Los suelos correspondientes a esta serie se encuentran en la provincia de Valdivia, ubicados preferentemente en la comuna de Panguipulli. Se presentan en la Cordillera de la Andes entre los 300 a 1000 m.s.n.m (IREN-UACH, 1978).

Son suelos profundos a moderadamente profundos (1,50 a 0,70 m) sueltos, de buenas condiciones de infiltración, de buen drenaje y alta capacidad de retención de agua. Presentan una textura de franca limosa a arenosa, con alto contenido de sustancias orgánicas en el suelo superior, con pH que varían de ácidos a moderadamente ácidos,

con altas concentraciones de Al y una baja disponibilidad de P. Estos suelos presentan ciertas limitantes ya que al estar expuestos sufren de un rápido secamiento superficial, también son susceptibles a la compactación en temporada húmeda producto de su alta porosidad, y en condiciones de relieves quebrados presentan riesgo de deslizamientos (Schlatter, 1975).

El área posee una topografía compleja de carácter montañoso, el 50% del terreno esta conformado por pendientes entre 10° a 25°, aunque existen pequeñas zonas de terrenos planos que están constituidos por lomajes relativamente suaves (0 - 10°).

El predio posee una superficie total de 2.184 ha de bosque nativo, las cuales se encuentran dominadas principalmente por bosques adultos del tipo forestal Coigüe-Raulí Tepa (83 %), con distintos grados de alteración. Un sector cercano al 10 % de la superficie total del predio fue alterado por usos anteriores, presentando en la actualidad renovales que abarcan 222 ha pertenecientes al tipo forestal Roble – Raulí – Coigüe, representado por *Nothofagus alpina*. Aparecen como especies acompañantes *Nothofagus obliqua*, *Nothofagus dombeyi*, *Laureliopsis philippiana* y *Saxegothaea conspicua*. Entre las especies arbustivas presentes en el predio destaca la abundante presencia de *Chusquea culeu*, la cual ha colonizado sitios abiertos, impidiendo la regeneración de los bosques. Esta situación es bastante común en áreas de bosques fuertemente intervenidos en el pasado, como los bosques de crecimiento secundario.

Cabe destacar la existencia de dos poblaciones adultas en buen estado de conservación pertenecientes al tipo forestal Ciprés de las Guaitecas, que ocupan 35 ha, representando el 2 % de la superficie total. Esta especie se encuentra en los denominados “mallines”, que son áreas que se caracterizan por tener un mal drenaje, teniendo como especies acompañantes a *Nothofagus dombeyi*, *Laureliopsis philippiana*, *Chusquea andina* o *Desfontainea spinosa*.

Se presentan unidades menores pertenecientes al tipo forestal Lengua apareciendo tanto en rodales puros de *Nothofagus pumilio* y mixtos con *Nothofagus dombeyi*, comprometiendo un sector de superficie reducida, que aparece en el límite altitudinal del predio.

Se observan pequeños bosques puros de *Nothofagus sp* que se instalaron en áreas sujetas a alteración reciente, como incendios y deslizamientos de tierra. Este tipo de bosques se presenta principalmente en zonas bajas del predio, aledaños al camino y a las riberas de los ríos. El resto de la superficie total se encuentra cubierta con plantaciones de especies nativas, exóticas, matorrales y praderas (Lara *et al.*, 2002).

El área no cuenta con un inventario exhaustivo de las especies de fauna silvestre. Sin embargo, por su gran superficie continua, madurez y escaso grado de intervención humana, se estima que el predio San Pablo de Tregua alberga un completo ensamble de mamíferos, aves, anfibios, reptiles e invertebrados característicos de los ecosistemas boscosos templados.

3.3 Caracterización de las parcelas experimentales

Se estudiaron dos microcuencas experimentales correspondientes al tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, en las cuales se establecieron dos parcelas instrumentalizadas de 1000 m², una con un manejo silvícola selectivo y la otra que no ha sido intervenida silviculturalmente, por lo tanto será considerada como una situación control (Figura 2).

Las microcuencas se delimitaron siguiendo las curvas de nivel en terreno, realizando una corrección en oficina a partir de un modelo de elevación digital elaborado con la extensión 3D de Arcview 3 (Neira, 2005).

El manejo silvícola realizado a una de las parcelas experimentales cubierta con bosque secundario de *N. alpina*, fue efectuado durante la época de otoño e invierno del año 2002, en que se extrajeron alrededor del 35% del área basal. Se realizó una reducción de copas del 40 % y se trato de liberar las copas de los individuos de mejores características en el rodal. Se trato de una intervención silvicultural fuerte, en que se extrajo una proporción similar de individuos por clase diámetrica, con lo que la distribución de frecuencias por clase de diámetro no tuvo mayor variación.

Se compararon las variables morfológicas del terreno como pendiente y altitud y el análisis de Wilcoxon indica que no hay diferencias significativas entre ellas ($p < 0,01$). (Neira, 2005). Por consiguiente las microcuencas son similares y se considera que su principal diferencia está dada por la cobertura vegetal y manejo silvicultural realizado.

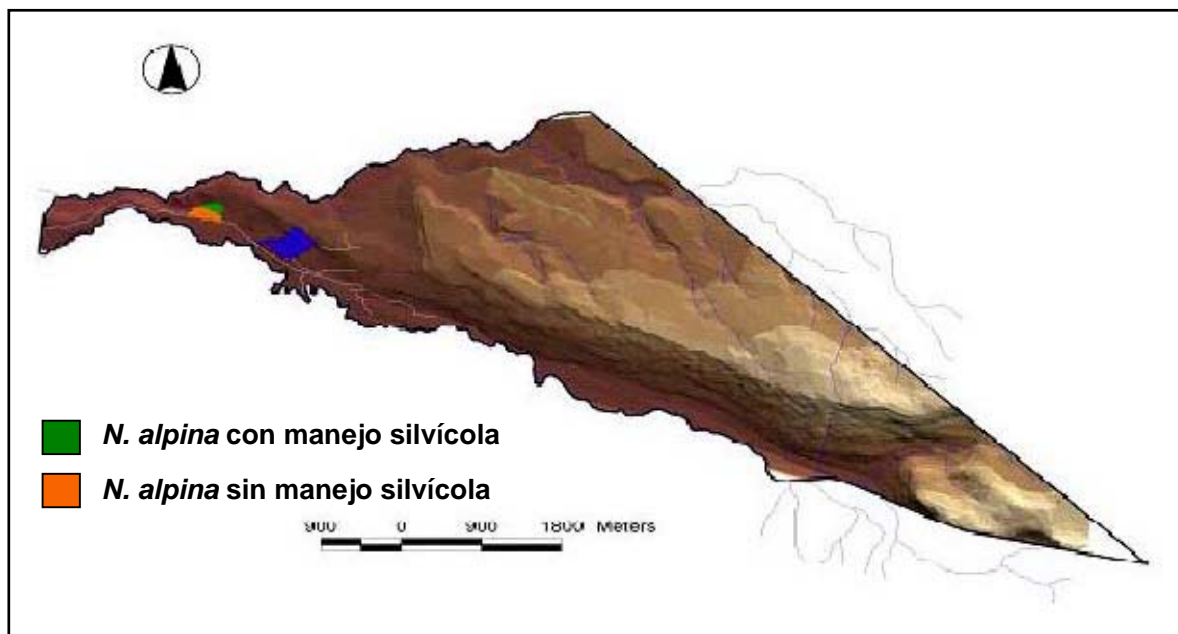


Figura 2: Area de estudio en el predio San Pablo de Tregua, mostrando un detalle de las microcuencas experimentales de bosques de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

En ambos bosques el estrato superior se encuentra dominado por *N.alpina* alcanzando entre un 60-70 % de cobertura. En el estrato medio domina *N. alpina*, acompañado por *N.obliqua* y presentándose *L. philippiana* en el bosque de *N.alpina* sin manejo silvícola. En el estrato inferior *D. diacanthoides* y *L.philippiana* presentan las mayores coberturas para el bosque de *N.alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Las especies arbustivas dominantes, en el bosque de *N.alpina* con manejo silvícola son *Aristelia chilensis* y *Nothofagus sp*, en cambio para bosque sin manejo silvícola se presenta *Chusquea culeu* (20% de cobertura). Las especies herbáceas presentes para ambos bosques son *Azara lanceolata*, *Blechnum sp*, *Luzuriaga radicans* e *Hydrangea integerrima* (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1: Inventario fitosociológico para el bosque de *Nothofagus alpina* con manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Estrato	Especies	Cobertura (%)
Arbóreo superior (15 a 30 m)	<i>Nothofagus alpina</i>	60
	<i>Nothofagus obliqua</i>	10
Arbóreo medio (8 a 15 m)	<i>Nothofagus alpina</i>	5
	<i>Nothofagus obliqua</i>	5
Arbóreo inferior (5 a 8 m)	<i>Dasiphylum diacanthoides</i>	X
	<i>Laureliopsis philippiana</i>	X
	<i>Nothofagus alpina</i>	X
	<i>Nothofagus obliqua</i>	X
Arbustivo (1 a 5 m)	<i>Aristotelia chilensis</i>	10
	<i>Nothofagus alpina</i>	5
	<i>Nothofagus obliqua</i>	5
	<i>Chusquea culeu</i>	5
	<i>Buddleja globosa</i>	X
	<i>Rubus constrictus</i>	X
	<i>Ribes magellanicum</i>	X
	<i>Azara lanceolata</i>	X
	<i>Fuchsia magellanica</i>	X
	<i>Laureliopsis philippiana</i>	X
	<i>Myrceugenia planipes</i>	X
	<i>Saxegothaea conspicua</i>	X
	<i>Luma apiculata</i>	X
	<i>Lomatia ferruginea</i>	X
Herbáceo (< 50 cm)	<i>Nertera granadenisis</i>	X
	<i>Luzuriaga radicans</i>	X
	<i>Chusquea culeu</i>	X
	<i>Prunella vulgaris</i>	X
	<i>Blechnum chilense</i>	X
	<i>Blechnum hastatum</i>	X
	<i>Solanum krauseanum</i>	X
	<i>Uncinia phleoides</i>	X
	<i>Plantago lanceolata</i>	X
	<i>Lotus uliginosus</i>	X
	<i>Ribes magellanicum</i>	X
	<i>Azara lanceolata</i>	X
	<i>Digitalis purpurea</i>	X
	<i>Holcus lanatus</i>	X

Fuente: Proyecto Fondecyt N° 1050313

Cuadro 2: Inventario fitosociológico para el bosque de *Nothofagus alpina* sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Estrato	Especies	Cobertura (%)
Arbóreo superior (15 a 30 m)	<i>Nothofagus alpina</i>	70
	<i>Nothofagus obliqua</i>	10
Arbóreo medio (7 a 15 m)	<i>Nothofagus alpina</i>	10
	<i>Nothofagus obliqua</i>	X
	<i>Laureliopsis philippiana</i>	X
Arbóreo inferior (5 a 7 m)	<i>Laureliopsis philippiana</i>	10
	<i>Nothofagus alpina</i>	X
	<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	X
	<i>Ribes magellanicum</i>	X
	<i>Weinmannia trichosperma</i>	X
Arbustivo (1 a 5 m)	<i>Chusqua culeu</i>	20
	<i>Gricelinia scandens</i>	X
	<i>Raphithamnus spinosus</i>	X
	<i>Azara lanceolata</i>	X
	<i>Nothofagus alpina</i>	X
	<i>Aristotelia chilensis</i>	X
	<i>Saxegothea conspicua</i>	X
	<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	X
	<i>Berberis buxifolia</i>	X
	<i>Aextoxicon punctatum</i>	X
	Herbáceo (< 50 cm)	<i>Blechnum hastatum</i>
<i>Blechnum chilensis</i>		X
<i>Lophosoria quadripinnata</i>		X
<i>Adenocaulon chilense</i>		X
<i>Hydrangea integerrima</i>		X
<i>Loasa acantifolia</i>		X
<i>Chusquea culeu</i>		X
<i>Greigia landbecki</i>		X
<i>Luzuriaga radicans</i>		X
<i>Blechnum blechnoides</i>		X
<i>Uncinia phleoides</i>		X
<i>Solanum krauseanum</i>		X
<i>Boquila trifoliolata</i>		X
<i>Embothrium coccineum</i>		X
<i>Dysosopsis glechomoides</i>		X
<i>Ctenitis spectabilis</i>		X
<i>Campsidium valdivicum</i>		X

Fuente: Proyecto Fondecyt N° 1050313

El Cuadro 3 indica las características dasométricas de las parcelas experimentales, en donde se observa una mayor densidad 1330 arb ha^{-1} en el bosque de *N.alpina* sin manejo silvícola. Con una mayor área de copas $1456,31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, el área basal es del orden de $45,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ siendo levemente mayor en comparación con el área basal del $30,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en el bosque de *N.alpina* con manejo silvícola. Los bosques son coetáneos, presentando las mismas características topográficas y coberturas vegetales.

Cuadro 3: Características dasométricas de las parcelas experimentales, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Descriptor	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola
Densidad (arb/ha)	1030	1330
Área de copas (m^2/ha)	845,2	1456,3
Área basal (m^2/ha)	30,2	45,2
Edad (años)	53	53
Diámetro medio (cm)	19,3	18,0
Composición	N.alpina/N.obliqua	N.alpina/N.obliqua
Exposición	N/W	N/W
Pendiente	10°	20°

Fuente: Neira, 2005.

En el cuadro 4 se indican las características químicas del suelo, donde se observan suelos ácidos a pH en (H_2O) de 5,5 a 5,6, en el pH en (KCl) los valores fluctúan entre 4,6-5,0 aumentando la acidez en la superficie (0-20 cm). Son suelos ricos en materia orgánica 10,6- 10,9 %, hasta los 20 cm y disminuyendo al aumentar la profundidad entre 8,8 y 9,0 %, para *N.alpina* con y sin manejo silvícola. El suelo es rico en nitrógeno total hasta los 20 cm presentando un 0,86 % en ambos bosques, que disminuye en

profundidad llegando al 0,71% para *N.alpina* sin manejo. Se presenta una relación C/N moderadamente baja en superficie entre los 12,2 y 12,6%, para cada bosque. Los niveles de P (Olsen) son bajos disminuyendo en profundidad de 2,4 y 2,5 % a 1,6%, presentándose una tendencia similar en ambos bosques. Los contenidos de Na son más altos en la superficie del bosque de *N.alpina* con manejo silvícola 27 ppm, disminuyendo a los 20 cm hasta llegar a 23 ppm en ambos bosques. Los contenidos de K, Ca y Mg, son más altos en *N.alpina* sin manejo silvícola en comparación con *N.alpina* con manejo silvícola los montos disminuyen en profundidad.

Cuadro 4: Características químicas del suelo, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Nothofagus alpina con manejo silvícola

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Ct (%)	Nt (%)	C/N	P (Olsen)	Na	K	Ca	Mg
							Acetato de amonio pH 4,8- DTPA ppm			
0-20	5,5	4,6	10,6	0,86	12,2	2,5	27	61	254	57
20-40	5,5	4,8	9,0	0,73	12,3	1,6	23	40	124	37

Nothofagus alpina sin manejo silvícola

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Ct (%)	Nt (%)	C/N	P (Olsen)	Na	K	Ca	Mg
							Acetato de amonio pH 4,8- DTPA ppm			
0-20	5,6	4,7	10,9	0,86	12,6	2,4	17	108	463	109
20-40	5,5	5,0	8,8	0,71	12,4	1,6	23	63	285	69

Fuente: Proyecto Fondecyt N° 1050313

3.4 Estimación de biomasa en la hojarasca y estimación total y fraccionamiento de mantillo

Para determinar el aporte de biomasa de hojarasca se distribuyeron regularmente en el interior de las parcelas experimentales 12 colectores de 50 x 50 cm de superficie y de 1 m de alto, con una base plástica fina de tamiz de 2 mm (Figura 3). El material se colectó en forma mensual y fue secado a 50°C hasta peso constante, para estimar el aporte al suelo en forma mensual, estacional y anual.



A



B

Figura 3: Colectores de hojarasca, instalados en las parcelas experimentales del bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile. A: Aspecto general del colector; B: Aspecto superficial del colector.

Los contenidos de nutrientes en la hojarasca fueron estimados para el período actual de estudio en base a los datos obtenidos de Thibo (2004). La metodología utilizada fue para el N (Kjeldahl), para P (Espectrofotométrico) y para K, Ca y Mg (Espectrometría de absorción atómica).

Para la estimación del mantillo que corresponde al material vegetal que se acumula sobre el suelo, se realizó un muestreo en diciembre del 2005, en el cual se distribuyeron en un transecto 6 cuadrantes de 4 m², de los cuales se recogieron muestras en los 4 los vértices de 50 cm², obteniendo 24 muestras para cada parcela experimental.

Cada muestra se separó en 4 fracciones: Oa: material leñoso y semillas, Ob: hojas y musgos, Oc: hojas en descomposición y Od: humus. Los montos totales y parciales del mantillo, se expresan en ton ha⁻¹.

3.5 Mineralización de nitrógeno

El ensayo de mineralización mediante el método de incubación *in situ* se realizó con tubos cilíndricos de PVC (10 cm de longitud · 7 cm de diámetro) (Figura 4). Las paredes de los tubos son perforados finamente para permitir el intercambio gaseoso y son tapados en el extremo superior, para evitar el efecto de la lixiviación (Raison *et al.*, 1987).



Figura 4: Tubos de incubación *in situ*, instalados en las parcelas experimentales del bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Se recolectaron 6 muestras mensuales a partir de agosto 2005 hasta julio 2006, de suelo incubado con su respectiva muestra compuesta de suelo no incubada de la misma profundidad y área de estudio, correspondiente al tiempo cero para cada oportunidad. Para cada período de suelo incubado y del tiempo cero se cuantificó los montos de N en las formas inorgánicas de amonio (NH_4) y nitrato (NO_3), correspondiendo la suma de ambas la N-min. A partir de esto se estimaron las tasas mensuales y anuales de N- NH_4 , N- NO_3 y N-Nmin.

Las muestras de suelo fueron procesadas en un tamiz de 2 mm. Del suelo tamizado se tomaron 5 muestras de 30 gr para cada una de las parcelas experimentales. Estas muestras se mezclan con 60 mL de KCL 0,1 N, que son depositadas en un envase plástico con tapa hermética y luego se agitaron por 1 hora. Transcurrido este procedimiento, las muestras se dejan decantar por 1 hora para el posterior filtrado del sobrenadante. De las muestras procesadas se determino el contenido de humedad del suelo, para ello se toman 10 gr de suelo fresco que son pesados para luego ser secados hasta peso constante.

Posteriormente, se realizó la destilación de amonio y nitrato en el suelo según método del Steam flow (Bremner, 1965). Se tomaron 20 mL del extracto de suelo y se depositaron en balones de vidrio para ser destilados, agregándoles MgO para la determinación de amonio y Devarda's para la determinación de nitrato. El extracto destilado se recibe en vaso precipitado con 10 mL de solución indicadora, hasta completar 60 mL, que es titulado con HCl 0,01 N.

Luego, las concentraciones de amonio y nitrato en las muestras de suelo se calcularon con:

$$\text{mg/L} = \frac{(\text{mL muestra} - \text{mL blanco}) \cdot 14,01 \cdot 0,01}{20 \text{ mL}} \cdot 1000$$

Donde:

mL muestra: volumen de HCl gastado en la titulación del extracto de suelo.

mL blanco: volumen de HCl gastados en la titulación del blanco.

14,01: peso molecular del N.

0,01: normalidad del HCl utilizados para titulación.

20 mL: volumen de extracto de suelo utilizado para la destilación.

Obtenidos los valores de amonio y nitrato para cada una de las muestras incubadas y para sus respectivos tiempos ceros, se procede a calcular la concentración en el suelo.

$$\text{gr N/gr suelo} = \frac{(\text{mg/L} \cdot (60 \text{ mL} + \text{mL humedad}))}{30 \text{ gr}}$$

Donde:

60 mL: volumen de extracto de suelo destilado.

mL: volumen de humedad del suelo tamizado.

30 gr: cantidad de suelo tomado para la extracción.

Como medición complementaria se monitorearon variables microclimáticas como la precipitación que fue cuantificada a partir de pluviógrafos HOBO conectados a un Data-Logger (de registro continuo) y la temperatura del aire fue registradas con equipos de monitoreo continuo.

3.6 Análisis estadísticos

Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, al conjunto de datos del aporte de hojarasca, estimación total y fraccionamiento de mantillo y tasas de N-NH_4 , N-NO_3 y N-N_{min} , para un bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola. Todos los datos analizados cumplen con ellos, por lo tanto se aplicaron análisis estadísticos paramétricos.

Para los aportes de hojarasca se aplicó una t de Student para evaluar las diferencias en los aportes anuales, para cada parcela experimental.

Para la estimación del mantillo se utilizó una ANOVA de una vía y un test de significancia de Tukey.

A las tasas de N-NH_4 , N-NO_3 y N-N_{min} , se les aplicó una ANOVA factorial, y un test de significancia de Tukey.

La temperatura media mensual del suelo fue correlacionada con los montos de las tasas de N-NH_4 , N-NO_3 y N-N_{min} , con un análisis de regresión simple.

Todos los datos fueron analizados mediante el software Statistica 6.1.

4. RESULTADOS

Los montos anuales de hojarasca para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo varían entre 4584 y 4486 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Las parcelas experimentales con bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo, muestran un aporte mensual bajo, concentrando el 66 % y 81 % de su aporte total en los meses otoñales, comportamiento típico de bosque dominados por especies caducifolias. Los menores aportes se presentan afines de invierno y principios de primavera para ambos bosques (Figura 5).

El bosque de *Nothofagus alpina* con manejo muestra un mayor aporte anual, inesperado, ya que sufrió una disminución de copas de más del 40 %, además como muestra el Cuadro 3 presenta una densidad, área de copas y basal en comparación con el bosque de *Nothofagus alpina* sin manejo bastante mayor.

A pesar de esto el análisis de varianza para los aportes anuales totales no presentan diferencias estadísticamente significativas, con un 95 % de confianza (p-valor > 0,05).

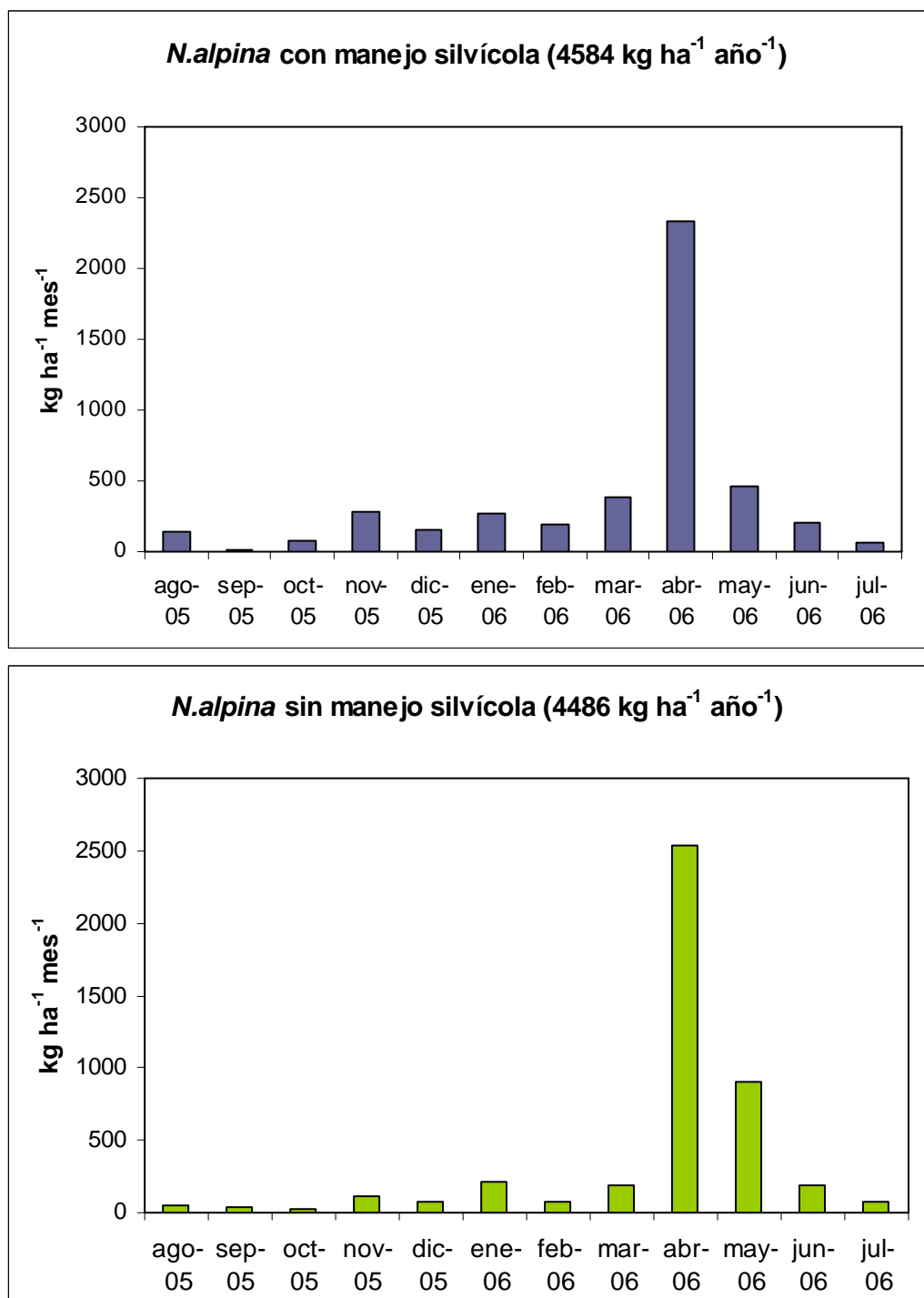


Figura 5: Aporte mensual y anual de hojarasca para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Los contenidos de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), estimados para la hojarasca del periodo en estudio, en base a los antecedentes obtenidos de Thibo (2004), muestran una baja variabilidad anual entre ambos bosques, esto podría deberse a que el aporte de materia orgánica presenta un similar comportamiento (Figura 6).

Los contenidos de N varían entre los 56,07 - 54,47, presentando bajos montos de P: entre 3,29 - 2,83, bajos contenidos en K: 5,78 y 6,80, Ca: 55,73 - 57,72 y Mg: 8,11 - 8,67 kg ha⁻¹ año⁻¹, para el bosque de *N. alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente.

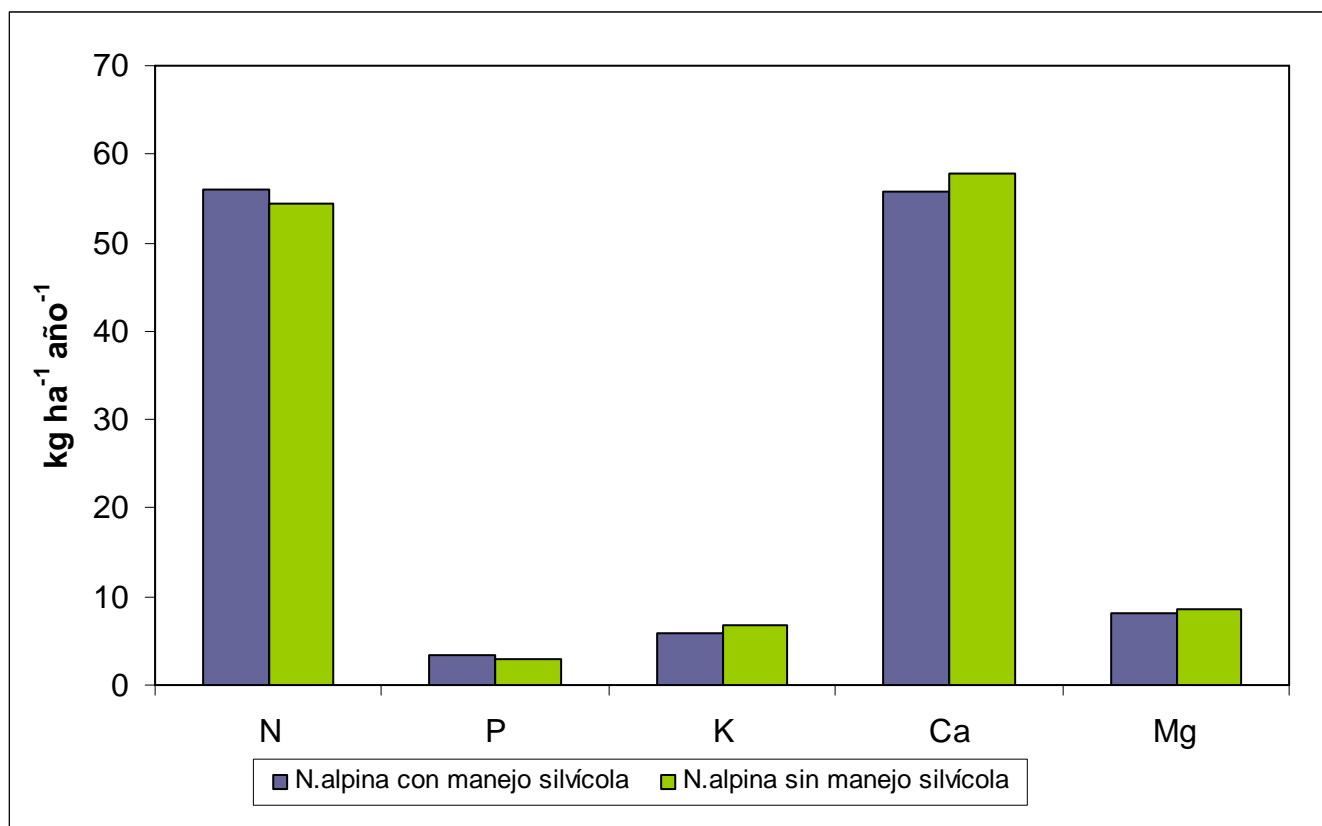


Figura 6: Contenidos de nutrientes en la hojarasca para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Los montos totales de mantillo fueron de 110,13 y 48,39 ton ha⁻¹, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente (Figura 7).

El horizonte Oa compuesto por material leñoso (incluidos los montos de los colihues) y semillas representa el 85 % y un 71 % del monto total del horizonte Oa para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo, respectivamente. Cabe destacar, que los montos de los colihues presentes en este horizonte son de 88,05 ton ha⁻¹ (79 % del total) y 28,31 ton ha⁻¹ (58 % del total), para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo, respectivamente. Los mayores valores de colihues presentados por el bosque de *N. alpina* con manejo se deberían a la apertura del dosel producida por la intervención silvicultural realizada.

Los aportes del horizonte Ob compuesto por hojas y musgos varían entre 1,48 y 2,25 ton ha⁻¹, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Los montos para el horizonte Oc compuesto por hojas en descomposición los valores fueron de 8,58 y 7,35 ton ha⁻¹ para el bosque de *N.alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Para el horizonte Od que esta compuesto por el humus presenta valores entre 5,65 y 4,03 ton ha⁻¹ para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente (Figura 7).

La estimación total de mantillo no presenta diferencias significativas entre ambos bosques. Los horizontes orgánicos Oa y Ob, muestra diferencias significativas. No se presentaron significativas ($p < 0,05$) en los horizontes Oc y Od.

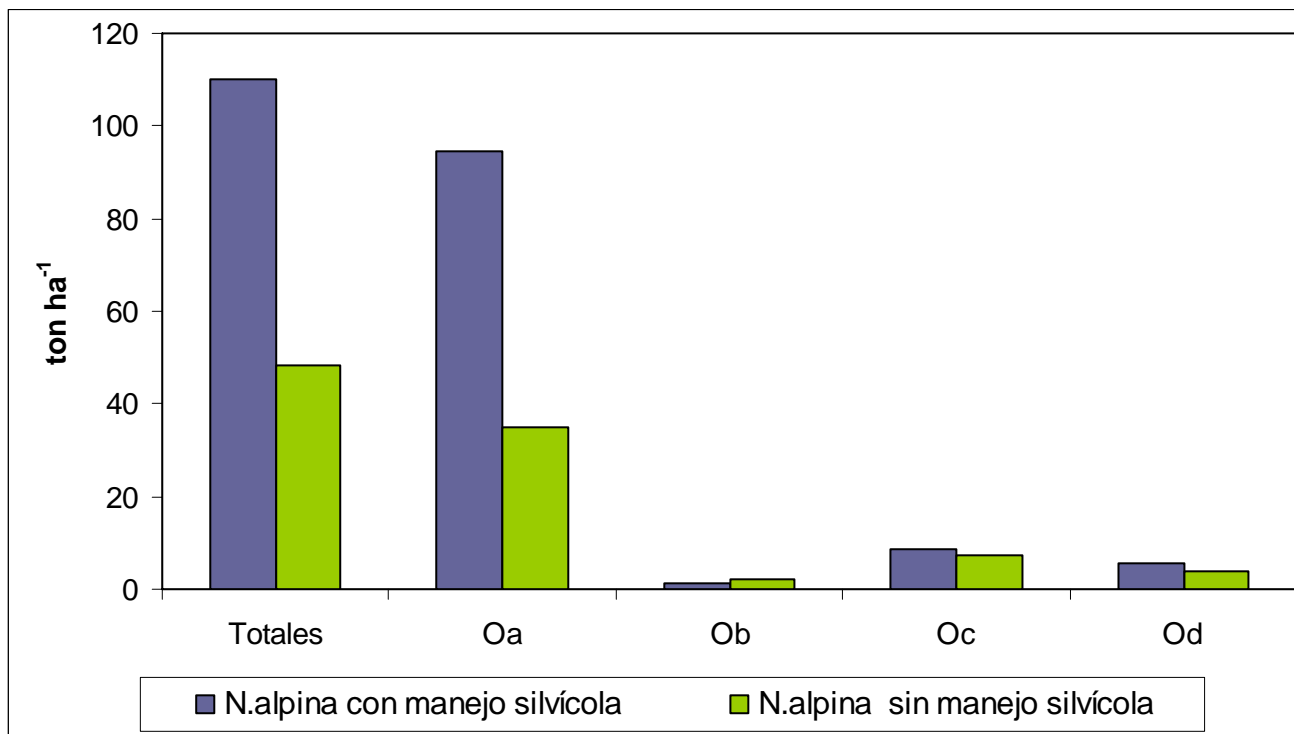


Figura 7: Estimación del total y fraccionamiento en los distintos horizontes orgánicos (Oa, Ob, Oc y Od) de mantillo, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

En la Figura 8 se comparan las concentraciones de N-NH₄, N-NO₃, y N-Nmin medias mensuales, durante un período anual, para el bosque de *N.alpina* con y sin manejo silvícola.

Para el bosque de *N.alpina* con manejo silvícola la N-NH₄, presenta una variación positiva en la mayoría de los meses de estudio presentando los menores valores en diciembre y enero entre -2,03 y - 6,23 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹.

Las tasas mensuales de N-NO₃ muestran una variación inconstante, presentando los montos más bajos en enero y abril entre -7,34 y -4,07 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, respectivamente. Los montos máximos se presentan en agosto y octubre 6,22 y 10,15 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, respectivamente.

Los montos mensuales de N-min presentan una variación positiva, mostrando tasas negativas que corresponden a los menores montos que se presentan en los meses de enero y abril con 13,61 y - 4,63 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹.

Estacionalmente las menores tasas de N-Nmin son -1,93 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, se presentan en verano y las mayores en invierno son 5,87 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹. Los montos anuales observados de la N-NH₄ son de 2,04, N-NO₃ 2,40 y N-Nmin 4,44 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 8).

Para el bosque de *N.alpina* sin manejo silvícola las tasas mensuales de N-NH₄, presentan los menores valores en enero y mayo entre -2,70 y -3,73 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, y los mayores montos se presentan en agosto y noviembre con 5,25 y 7,05 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹.

Los tasas de N-NO₃, presentan los menores valores en enero y febrero de -3,59 y -1,85 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, los máximos valores se presentan en agosto y noviembre con 4,21 y 2,97 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹.

Las tasas de N-min varían entre los montos mínimos de enero y mayo con -6,18 y -4,65 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, mientras que los máximos se presentan en agosto y noviembre con montos entre 9,46 y 10,02 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹.

Estacionalmente los montos de N-min varían de -1,71 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, durante el verano y los mayores montos alcanzan los 4,36 mg N kg⁻¹ s.s mes⁻¹, en primavera. Los montos anuales para la N-NH₄ 3,71, N-NO₃ 0,30 y N-Nmin son de 4,01 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 8).

Las tasas de N-NH₄ y N-NO₃ presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambas parcelas ($p < 0,01$), pero las tasas de N-Nmin no presentan estas diferencias significativas ($p = 0,387$).

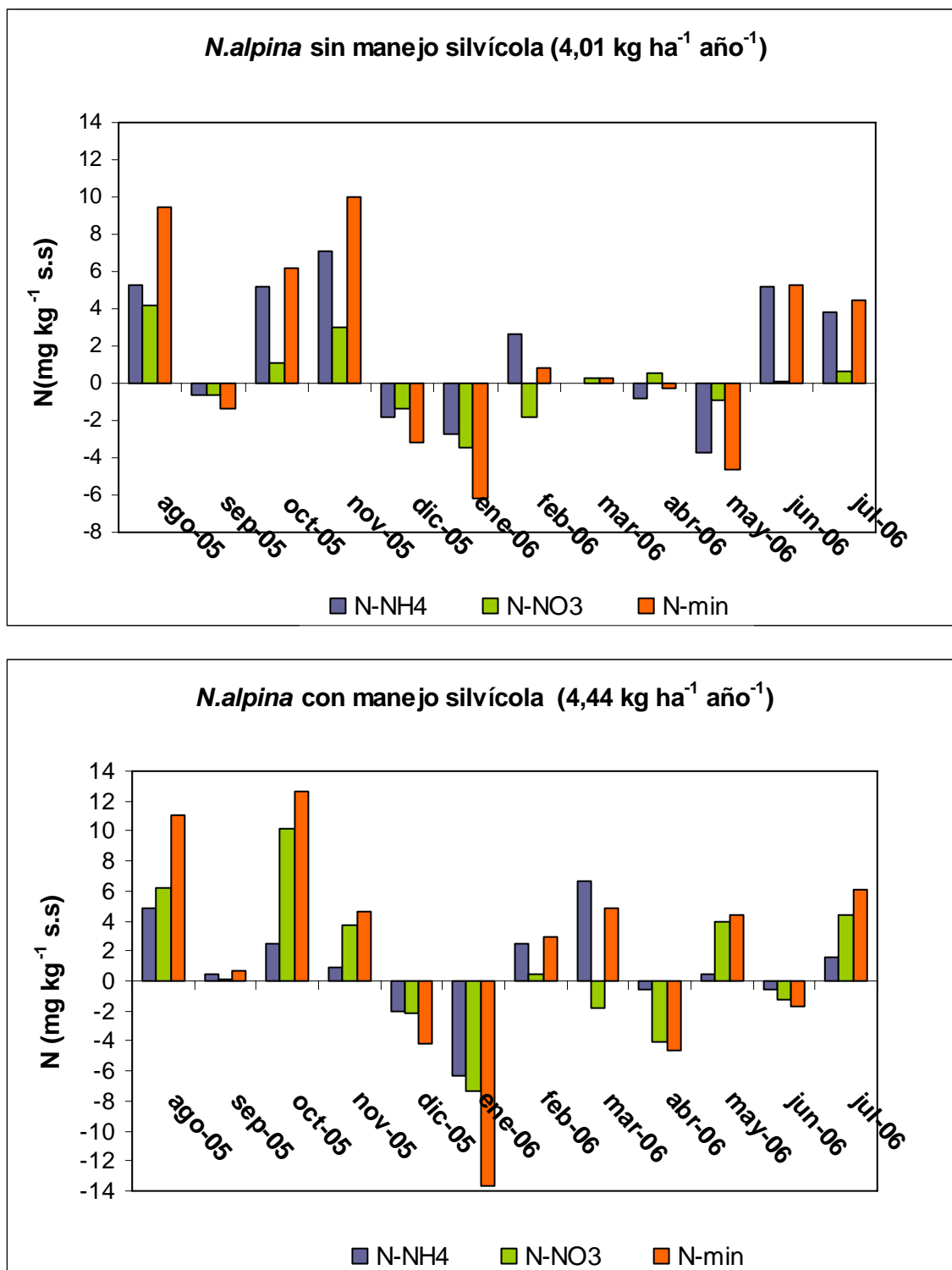


Figura 8: Montos de amonificación, nitrificación y mineralización neta de nitrógeno para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

En la Figura 9 se presentan las variaciones mensuales de las precipitaciones mostrando una tendencia estacional, alcanzado sus máximos valores en junio y julio con 785 y 616,5 mm, respectivamente. Las menores precipitaciones, se presentan en octubre y febrero con 95 y 99,5 mm, la precipitación anual alcanza a los 4193 mm.

La temperatura del suelo muestra un comportamiento estacional, alcanzando los máximos en enero y febrero con 18,1 - 17,6 °C, respectivamente. Las menores temperaturas se observan en los meses de otoño e invierno presentando mínimas de 7,0 °C en mayo y junio, y 5,0 °C en julio. Las temperaturas medias varían presentando la tendencia de las máximas y mínimas, fluctuando entre los 7,3 en julio y 16,8 °C en febrero.

El Anexo 9 muestra las correlaciones de la temperatura media mensual del suelo y las tasas de N-NH₄, N-NO₃ y N-Nmin, muestra una débil asociación.

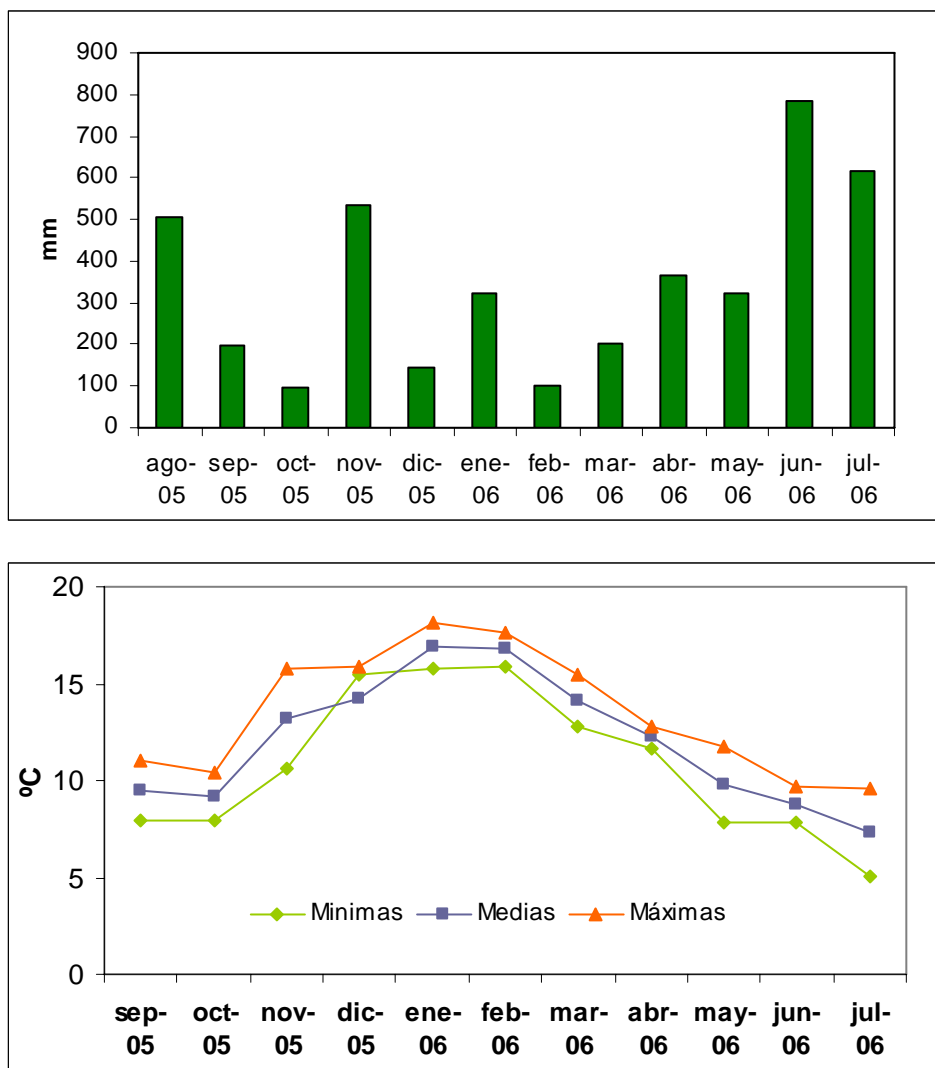


Figura 9: Variables microclimáticas: precipitación, temperaturas mínimas, medias y máximas del suelo y para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

5. DISCUSION

En la actualidad, los bosques templados de sur de Chile se consideran un área control a nivel global, debido a que los constituyentes químicos del agua de precipitación, reflejan las aproximaciones más cercanas a una condición preindustrial (Armesto *et al.*, 1996)

Los impactos antropogénicos tales como cambios en el uso del suelo y contaminación, alteran los procesos que regulan los ciclos biogeoquímicos, donde la aproximación experimental a nivel de microcuencas es una herramienta poderosa que permite realizar evaluaciones cuantitativas de las variaciones provocadas en los servicios ecosistémicos. En el pasado las prácticas de degradación, que incluyen extracciones con aplicación de fuego para apertura del dosel y el constante reemplazo de bosques a terrenos agrícolas y pastizales, ha sido un factor relevante en la alteración de los servicios ecosistémicos (Cuevas *et al.*, 2006).

Recientemente, nuevas prácticas silviculturales se proyectan hacia una nueva dimensión, que se traduce en un menor impacto en el ecosistema como la extracción selectiva y racional, en la que se extrae exclusivamente los árboles dejando depositados los residuos *in situ*, mediante técnicas extractivas poco invasivas, como el uso de transporte animal. Esta práctica es acorde a la composición y estructura específica de los sitios de experimentación, tal como el manejo silvicultural realizado en el presente estudio a parcelas experimentales del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, en

el cual se liberaron las copas de los individuos de mejores características, para lo cual se extrajeron una proporción similar de individuos por clase diamétrica, con lo cual su distribución en el bosque sufrió mayores variaciones. Lo que conlleva a reducir el impacto que una intervención, ya sea de origen antropogénico o silvícola ocasiona en la dinámica propia del bosque y en la circulación y capital de nutrientes en el ecosistema ya que modifica los aportes de materia orgánica, que tienen una directa influencia en la actividad biológica del suelo (Schlatter *et al.*, 2006)

Los bosques deciduos se ven menos influenciados por variables climáticas que afectan la caída de hojarasca, debido a que anualmente se producen los aportes en sincronía, en comparación con los bosques siempreverdes en que su patrón de hojarasca se ve afectado por condiciones internas y externas. La producción de hojarasca para bosques templados de Chile fluctúa entre 1,7 y 7,3 $\text{ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Donoso 1992, Pérez *et al.*, 1998, Leiva & Godoy 2002).

En el presente estudio los aportes anuales de hojarasca fueron de 4,5 y 4,4 ton ha^{-1} , para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Ambos bosques mostraron un aporte mensual bajo, concentrando la mayor parte de su aporte en los meses de otoño (66 y 81%), comportamiento típico de bosques dominados por especies caducifolias. Montos similares de hojarasca se han descrito para un bosque mixto de *N. dombeyi* y *N. alpina* (5,4 $\text{ton}^{-1} \text{ha}^{-1}$), ubicado en la región cordillerana andina de Chile con clima mediterráneo. En bosques tropicales deciduos de

latifoliadas ubicados en Colombia (4° N), se registran aportes anuales que fluctúan entre los 8,5 y 10 ton⁻¹ ha⁻¹ (Burschel *et al.*, 1976)

Estudios para *N.pumilio* concluyen que el 40 y 60% del N y P, respectivamente, son retranslocados previo a la abscisión de las hojas (Veblen *et al.*, 1996). Los contenidos de nutrientes en la hojarasca del presente estudio varían para N: 56,07 – 54,47, kg ha⁻¹ año⁻¹, P: 3,29 – 2,83 y K: 5,78 – 6,80 kg ha⁻¹ año⁻¹ para *N. alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Pérez *et al.* (1998) estiman que la hojarasca aporta 10,7 y 22,6 kg N ha⁻¹ año⁻¹, para bosques dominados por *Fitzroya* y *Nothofagus* respectivamente. La calidad de la hojarasca en el bosque de *N. betuloides* es pobre en nutrientes, con una relación C/N muy alta, cuyo retorno potencial de los macroelementos provisto por la fracción foliar de la hojarasca, es de 25,5 kg N ha⁻¹, 1,1 kg P ha⁻¹ y 3,6 kg K ha⁻¹ (Leiva y Godoy, 2002). La restitución potencial anual de macroelementos nutritivos que alcanzarían el suelo, provisto por la hojarasca, alcanzan a N: 32, P:1,84, K:5,4, Ca:51, Mg: 4,2 y C: 3,5 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Cortés,2000).

La acumulación de restos orgánicos en la superficie del suelo posee una estructura y composición característica en cada ecosistema. Pérez *et al.*, (1991) registro montos de 14 ton ha⁻¹ de hojarasca acumulada, que solo considera el horizonte O1 (hojarasca) para bosques mixtos de coníferas y laurifoliadas en Chiloé.

Este material tiene fases de degradación, cuya duración varía con la zona biogeoclimática, el tipo de disturbio, las condiciones de humedad y los organismos

descomponedores asociados (Stevens,1997) y puede permanecer en el bosque durante décadas (Harmon & Sexton, 1996). *Vann et al.*, (2002) en estudios para bosques de Chiloé, señala una gran similitud en el reservorio de nutrientes y ciclaje respecto de bosques del hemisferio norte y su variación, sería atribuida al tipo de vegetación y suelo.

Para bosques de *Nothofagus betuloides* Cortés (2000) estimó aportes totales de mantillo de $32 \text{ ton}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Estos valores son evidentemente menores a los estimados para bosques de *N.alpina* con y sin manejo silvícola del presente estudio, en los cuales los valores totales de mantillo alcanzaron 110 y $48 \text{ ton}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Estos mayores montos se deberian al aporte de *Chusquea culeu* en donde se acumula el material leñoso de los culmos, que representan entre el $88,05 \text{ ton ha}^{-1}$ (79%) y $28,31 \text{ ton ha}^{-1}$ (47%) de los montos totales del mantillo. En bosques templados de Chiloé bajo diferentes estados sucesionales, *Carmona et al.*, (2001) señala un aporte de material leñoso que fluctúa entre 18 y 413 ton ha^{-1} , este último el más alto registrado para ecosistemas templados del Norte y Sudamérica.

La descomposición de la materia orgánica es un importante proceso ecosistémico mediado por organismos heterótrofos que utilizan este material orgánico como hábitat y fuente de energía en la cual dicha utilización tiene como consecuencia la liberación de nutrientes tanto en forma orgánica como inorgánica (mineralización) (*Carmona et al .*, 2006).

La mayoría de los nutrientes disponible para las plantas, son derivados a través del proceso de mineralización del N contenido en la materia orgánica del suelo y detritus (Raison *et al.*, 1987).

Los montos anuales de las tasas N-NH₄ fueron de 2,04 – 3,71, N-NO₃ 2,40 – 0,30 y N-min 4,44 – 4,01 kg ha⁻¹ año⁻¹, para *N. alpina* con y sin manejo silvícola, respectivamente. Estas tasas son generalmente bajas para ambos bosques estos resultados concuerdan con Cárcamo *et al.*, 2004, que para bosques de *N.obliqua* menores a 6 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Se ha documentado que la mineralización de N *in situ* para suelos de *N. betuloides* en el Parque Nacional Puyehue, presenta bajas tasas en los meses fríos y húmedos de invierno (Zamorano, 2000). En el presente estudio, la mineralización neta del N *in situ* presentó valores negativos en invierno y primavera, mientras que la nitrificación fue positiva en el período mayo-julio. Estos valores pueden ser explicados por la absorción de N inorgánico mediante las raíces y su eventual inmovilización en la biomasa microbiana. Ensayos de mineralización del N total en suelos de bosque de *Aextoxicon punctatum* del Centro-Norte y Centro-Sur de Chile registran un aumento equivalente de la mineralización al aumentar la temperatura (Pérez, 1996). Aparentemente, las tasas de N-min decrecen durante el verano cuando las temperaturas son más altas (Nunan *et al.*, 2000).

Pérez (1998) para bosques de *Nothofagus* presenta tasas de N-min $31,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y para bosques de *Fitzroya* $37,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estimo que un pool de N en el suelo para bosques de *Nothofagus* entre 2 y $45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Recientemente se ha sugerido que la inmovilización microbiana de N en suelos de bosques puede ser un importante mecanismo de retención de N (Rivas *et al.*, 2006). Esto puede ser uno de los componentes del balance de N del bosque necesario de considerar. Por esta razón, es de importancia el estudio de la inmovilización microbiana de nitrato en suelos de bosques con nula o incipiente contaminación, como las comunidades boscosas nativas presentes en el sur de Chile.

Cuatro años post-manejo las tasas de N-min entre los bosques de *N.alpina* con y sin manejo silvícola, no presentan diferencias significativas lo que es atribuido a una rápida capacidad de recuperación de nutrientes en el suelo, que se interpreta como una estrategia para un control más eficiente de la circulación interna de N en los bosques templados del hemisferio sur.

Además al tratarse de bosques secundarios de rápido crecimiento, estos compensan la disminución de individuos con el aumento en la cobertura de copas lo que se evidencia en los similares aportes de materia orgánica disponible. Esto se encuentra asociado a los efectos poco invasores de la intervención silvicultural realizada, lo cual reduce el impacto en el ecosistema boscoso.

6. LITERATURA CITADA

Armesto, J., León-Lobos, P & Arroyo, M. (1996). Los bosques templados del sur de Chile y Argentina: una isla biogeográfica. *In:* Armesto J.; C. Villagrán; M. Arroyo (eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile.* Santiago, Ed Universitaria. p 23-27.

Bremner, J. (1965). Inorganic forms of nitrogen. *In:* Black, C.A et al., (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. American Society of Agronomy, Madison, WI.* pp. 1179-1273.

Burschel, P., Gallegos, C., Martínez, O & Moll, M. (1976). Composición y dinámica regenerativa de un bosque virgen mixto de raulí y Coigüe. *Bosque* 1(2).55-74.

Carmona M.R., Armesto J.J., Aravena J.C. & Pérez C.A. (2001) Coarse woody debris biomasa in successional and primary temperate forests in Chiloé Island, Chile. *For. Ecol. Managm.* 164: 265-275.

Carmona M., Aguilera M., Pérez C., & Serey I. (2006). Actividad respiratoria en el horizonte orgánica de suelos de ecosistemas forestales del centro sur de Chile. *Gayana Bot.* 63 (1):1-12.

Cárcamo, A., Puentes, L., Godoy, R., Oyarzún, C. & Valenzuela, E. (2004). Actividad biológica del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., centro-sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 4 (2):14-25.

Cortés, M. (2000). Producción y descomposición de hojarasca fina en un bosque siempreverde de *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst. En la Cordillera de los Andes, Antillanca 41°S. Tesis Ing.Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. p 25.

Cuevas, J., Soto, D., Arismendi, I., Pino, M., Lara, A & Oyarzún, C. (2006) Relating land cover to stream properties in southern Chilean watersheds: trade-off between geographic scale, sample size, and explicative power. *Biogeochemistry*.81:313–329

Donoso, C. (1992). Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria.p 369.

Harmon, E & Sexton, J. (1996). Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. Publication No. 20. Seattle, Walter Network Office, University of Washington. p 73.

IREN - UACH. (1978).Estudio de suelos de la provincia de Valdivia, Santiago, Chile.
p 25.

Lara A., Thiers, O & Tacón, A. (2002). Plan de manejo Proyecto CIPMA-FMAM Unidad demostrativa piloto Predio San pablo de tregua equipo planificador. p 25.

Leiva, J. & Godoy, R. (2002). Production and descomposition of litterfall in *Nothofagus* forest in Southern Chile. In: De Schrijver et al. (eds.) Comparison of ecosystems functioning and biochemical cycles in temperate forest in southern Chile and Flanders. Gent Academia Press pp 103-106.

Neira, E. (2005). Producción de agua en dos microcuencas de la cordillera de Los Andes (San Pablo de Tregua) con diferente cobertura de renovales de *Nothofagus*. Tesis Mag. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. p 89.

Nunan, N., Morgan, M., Scott, J & Herlihy, J. (2000). Temporal changes in nitrogen mineralization, microbial biomass, respiration and protease activity in a clay loam soil under ambient temperature. *Biology and Environment of the Royal Irish Academy*. 100 (2): 107-114

Oyarzún, C., Godoy, R. & Sepulveda, A. (1998). Water and nutrient fluxes in cool temperate rainforest at the cordillera de la costa in southern Chile. *Hydrological Processes* 12:1067-1077.

Oyarzún, C., Godoy, R. & Leiva, S. (2002). Depositación atmosférica de nitrógeno en transecto valle longitudinal-cordillera de Los Andes, centro-sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat* 75: 233-243.

Pérez, C., Armesto, J.J. & Ruthsatz, B. (1991). Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifolias en el Parque Nacional Chiloé, Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 64: 479-490.

Pérez, C. (1995) Los procesos de la descomposición de la materia orgánica de bosques templados costeros: Interacción suelo, clima y vegetación. In: Armesto, J., Villagrán., C & Arroyo, M. (Eds). *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. Editorial Universitaria. p 301-315.

Pérez C., Hedin, L. & Armesto, J. (1998). Nitrogen mineralization in two unpolluted Old-growth forest of contrasting biodiversity and dynamics. *Ecosystems* 1: 361-373.

Raison, R., Connell, P & Khanna, K. (1987). Methodology for studying fluxes soil mineral - N *in situ*. *Soil biol. Biochem.* 19 (5):521-530.

Rivas, Y., Godoy, R., Valenzuela, E., Leiva, J., Oyarzún, C & Alvear, M. (2006). Actividad biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Bot.* En prensa.

Schlatter, J. (1975). Suelos del Predio San Pablo de Tregua. Documento inédito. Universidad Austral de Chile. Valdivia. p 2.

Schlatter, J., Gerding, V. & Calderón, S. (2006). Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque* 27(2):115-125.

Schlatter, J., Grez, R. & Gerding, V. (2003). Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.p 114.

Steubing, L., Godoy, R. & Alberdi, M. (2002). Métodos de ecología vegetal. Editorial Universitaria. p 345.

Stevens, V. (1997). The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in B.C. forests. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 30/1997.

Thibo, K. (2003). Belang van strooiselvalen doorvalwater in de nutriëntencyclus van Nhotofagus-bossen in zuid-chili .pp105 .Faculteit landbouwkundige en toegepaste biologische wetenschappen.Universiteit Gent.

Vann, D., A Joshi, C. Pérez, A. Johnson, J. Frizano, D., Zarin & J. Armesto. (2002).

Distribution and cycling of C, N, Ca, Mg, K, and P in three pristine old-growth forest in the Cordillera de Piuché, Chile. *Biogeochemistry*, 60: 25-47.

Veblen, T., Hill, R. & Read, J. (1996) . Epilogue: Commonalities and needs for future research. In Veblen, Th, Hill, R & Read J. (Eds.). The ecology and biogeography of *Nothofagus* forests, Yale University Press, 293-386.

Vitousek, P., Turner, D., Parton, W. & Sanford, R. (1994).Litter descomposition on the Manua Loa environmental matriz, Hawai patterns, mechanisms, and models. *Ecology* 72:418-429.

Zamorano, J. (2000). Actividad biológica aeróbica del suelo en un bosque de *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oest., Parque Nacional Puyehue. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile. Fac. de Cs. Forestales. p 60.

7. ANEXOS

Anexo 1: Aporte mensual y anual de hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Período	<i>N. alpina</i> con manejo silvícola	<i>N. alpina</i> sin manejo silvícola
agosto-05	144,1	49,8
septiembre-05	17,6	39,2
octubre-05	83,1	28,6
noviembre-05	275,7	118,1
diciembre-05	147,6	75,7
enero-06	266,0	215,4
febrero-06	192,5	73,7
marzo-06	387,3	182,2
abril-06	2339,4	2539,8
mayo-06	467,2	897,7
junio-06	199,7	188,4
julio-06	64,5	78,2
Total ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)	4584,6	4486,8

Anexo 2: Contenidos de nutrientes en la hojarasca ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Nutrientes	<i>N. alpina</i> con manejo silvícola	<i>N. alpina</i> sin manejo silvícola
N	56,07	54,47
P	3,29	2,83
K	5,78	6,80
Ca	55,73	57,72
Mg	8,11	8,67

Anexo 3: Estimación total y fraccionamiento en los distintos horizontes orgánicos (Oa, Ob, Oc y Od) del mantillo (ton ha^{-1}), para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Horizontes	<i>N. alpina</i> con manejo silvícola	<i>N. alpina</i> sin manejo silvícola
Oa	94,41	34,76
Ob	1,48	2,25
Oc	8,58	7,35
Od	5,65	4,03
Totales	198,18	76,70

Anexo 4: Montos de amonificación, nitrificación y mineralización neta de nitrógeno N ($\text{mg kg}^{-1} \text{ s.s mes}^{-1}$) para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

PERIODO	PARCELA	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Nmin
agosto-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	5,62	5,61	11,23
agosto-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	4,53	7,06	11,59
agosto-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	4,53	5,98	10,51
septiembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,56	0,19	0,76
septiembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,56	0,19	0,76
septiembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,38	0,01	0,4
octubre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	2,48	9,3	11,78
octubre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	2,48	10,57	13,05
octubre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	2,48	10,57	13,05
noviembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,89	3,73	4,61
noviembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,17	3,73	3,9
noviembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,89	3,73	4,61
diciembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-2,09	-2,34	-4,43
diciembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-2,09	-2,34	-4,43
diciembre-05	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-1,91	-1,82	-3,73
enero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-7,99	-7,81	-15,8
enero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-5,68	-6,03	-11,71
enero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-5,14	-8,17	-13,31
febrero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	2,31	0,56	2,86
febrero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	3	0,73	3,73
febrero-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	2,3	0,03	2,33
marzo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	6,31	-2,15	4,16
marzo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	6,86	-1,42	5,44
marzo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	6,67	-1,78	4,89
abril-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,98	-4,19	-5,17
abril-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,25	-3,64	-3,9
abril-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,43	-4,38	-4,81
mayo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,32	3,86	4,17
mayo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,5	3,86	4,36
mayo-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	0,5	4,23	4,73
junio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,65	-1,16	-1,81
junio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,65	-1,16	-1,81
junio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	-0,28	-1,34	-1,63
julio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	1,56	4,44	6
julio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	1,74	4,44	6,18
julio-06	<i>N.alpina</i> con manejo silvícola	1,56	4,44	6

PERIODO	PARCELA	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Nmin
agosto-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	4,76	5,12	9,88
agosto-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	6,03	4,75	10,78
agosto-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	4,94	2,76	7,71
septiembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-0,73	-0,36	-1,09
septiembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-0,9	-0,54	-1,44
septiembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-0,37	-1,08	-1,44
octubre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	5,5	0,53	6,02
octubre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	4,97	1,97	6,93
octubre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	4,97	0,7	5,67
noviembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	7,58	3,22	10,8
noviembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	6	2,85	8,84
noviembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	7,58	2,85	10,43
diciembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-1,25	-0,66	-1,91
diciembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-2,3	-1,67	-3,97
diciembre-05	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-1,94	-1,67	-3,62
enero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-2,4	-3,13	-5,53
enero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-2,93	-3,66	-6,59
enero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-2,75	-3,67	-6,42
febrero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	2,4	-1,85	0,54
febrero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	3,24	-2,02	1,22
febrero-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	2,39	-1,68	0,71
marzo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	0,1	-0,34	-0,24
marzo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-0,24	0,54	0,3
marzo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	0,1	0,54	0,64
abril-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-0,08	0,41	0,33
abril-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-2,55	0,58	-1,97
abril-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	0,09	0,76	0,85
mayo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-3,85	-0,92	-4,77
mayo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-3,31	-0,92	-4,22
mayo-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	-4,03	-0,92	-4,95
junio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	5,23	0,18	5,41
junio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	5,23	0,18	5,41
junio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	5,05	0	5,05
julio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	3,5	0,54	4,03
julio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	3,85	0,68	4,54
julio-06	<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola	4,03	0,68	4,72

Anexo 5: Temperaturas mínimas, medias y máximas del suelo y precipitación bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Mes	Temperatura promedio mensuales (°C)			Precipitación (mm)
	Mínimas	Medias	Máximas	
agosto-05				507
septiembre-05	7,9	9,5	11,0	198,3
octubre-05	7,9	9,2	10,5	95
noviembre-05	10,6	13,2	15,7	532
diciembre-05	15,4	14,3	15,9	144,5
enero-06	15,7	16,9	18,1	321,8
febrero-06	15,9	16,8	17,6	99,5
marzo-06	12,8	14,1	15,4	202,4
abril-06	11,6	12,2	12,8	367
mayo-06	7,8	9,8	11,8	324,4
junio-06	7,8	8,8	9,7	785
julio-06	5,0	7,3	9,5	616,5
Totales				4193,4

Anexo 6: Análisis estadístico para montos de aporte de hojarasca anual para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Test de Hartley para la homogeneidad de varianzas.

Fuente de variación	F_{max}	G.L	p
Peso	1,3120	1	0,6600

Diferencia es significativa cuando $*p < 0,05$.
Donde: G.L: Grados de libertad y p: Probabilidad.

Test de significancia prueba t Student.

Fuente de variación	t	G.L	p
Peso	0,0294	22	0,9767

Diferencia es significativa cuando $*p < 0,05$.
Donde: t: valor prueba t Student, G.L: Grados de libertad y p: Probabilidad.

Anexo 7: Análisis estadístico para la estimación total y fraccionamiento en los distintos horizontes orgánicos (Oa, Ob, Oc y Od) del mantillo (ton ha^{-1}), para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Test de Hartley para la homogeneidad de varianzas.

Fuente de variación	F_{\max}	G.L	p
Oa	1,8224	1	0,6328
Ob	12,3341	1	0,0694
Oc	3,9410	1	0,2888
Od	2,9184	1	0,4012
Totales	2,9184	1	0,4012

Diferencia es significativa cuando $*p < 0,05$.
 Donde: G.L: Grados de libertad y p: Probabilidad.

Test de significancia prueba de Tukey

Fuente de variación	MS	G.L	p
Oa	0,1711	6	0,0002*
Ob	0,0079	6	0,0242*
Oc	0,4229	6	0,5273
Od	0,2099	6	0,2608
Totales	1,8444	6	0,6208

Diferencia es significativa cuando $*p < 0,05$.
 Donde: G.L: Grados de libertad y p: Probabilidad.

Anexo 8: Análisis estadístico para los montos de amonificación, nitrificación y mineralización neta N ($\text{mg kg}^{-1} \text{ ss mes}^{-1}$), para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

Test de Hartley para la homogeneidad de varianzas.

Fuente de variación	F max	G.L	p
N-NH ₄	1,236848	1	0,532793
N-NO ₃	5,302821	1	0,000003*
N-N _{min}	1,822672	1	0,080084

Test de significancia prueba de Tukey.

Fuente de variación	MS	G.L	P
N-NH ₄	0,3269	48	0,0001*
N-NO ₃	0,2564	48	0,0001*
N-N _{min}	0,6402	48	0,3878

Diferencia es significativa cuando $*p < 0,05$.
 Donde: G.L: Grados de libertad y p: Probabilidad.

Anexo 9: Correlaciones simples entre la temperatura media mensual y las tasas de N-NH₄, N-NO₃ y N-Nmin, para el bosque de *Nothofagus alpina* con y sin manejo silvícola, Cordillera de los Andes, Sur de Chile.

<i>N.alpina</i> con manejo silvícola			
Estadístico	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Nmin
r	0,22	0,59	0,51
r ²	0,05	0,35	0,26
r ² ajustado	-0,06	0,28	0,18
F	0,47	4,87	3,16
p	0,51	0,05	0,11
Error estándar	3,27	4,06	6,31

<i>N.alpina</i> sin manejo silvícola			
Estadístico	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Nmin
r	0,30	0,49	0,49
r ²	0,09	0,24	0,24
r ² ajustado	-0,01	0,16	0,16
F	0,88	2,87	2,87
p	0,37	0,12	0,12
Error estándar	3,66	1,56	1,56

Diferencia es significativa cuando *p< 0,05.