



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Cuantificación de la hojarasca en *Eucalyptus nitens* con
diferentes manejos nutritivos, X Región, Chile**

Profesor Guía: Sr. Juan E. Schlatter

Tesis de Grado presentada como parte
de los requisitos para optar al Título
de **Ingeniero Forestal**.

RODRIGO HUMBERTO SAAVEDRA REBOLLEDO

Valdivia
2009

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Profesor Guía:	Sr. Juan E. Schlatter	6,1
Informante:	Sr. Víctor Gerding Salas	6,0
Informante:	Sr. Oscar Thiers Espinoza	6,0

El Profesor Guía acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Juan E. Schlatter

Gracias Papá y Mamá por todo el esfuerzo para educar a sus hijos.

Gracias Gaby e Isi por llenar mi vida de amor.

Gracias Patty, Clau y Negri, mis hermanas queridas.

Gracias Marita por tu constante apoyo y preocupación.

Gracias don Juan y don Víctor por sus conocimientos y experiencia, docentes de lujo.

Gracias Oscar por el apoyo y ayuda, un gran profesional.

Juanita, abuelita querida
Siempre estarás en mi corazón.....

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Caracterización de la especie <i>Eucalyptus nitens</i>	3
2.2 Características de los suelos rojos arcillosos	4
2.3 Elementos nutritivos y biomasa	5
2.4 La hojarasca y su aporte en elementos nutritivos	7
3. MATERIAL Y MÉTODO	12
3.1 Material	12
3.1.1 Ubicación del ensayo	12
3.1.2 Clima	13
3.1.3 Suelos	13
3.1.4 Establecimiento del ensayo	14
3.2 Método	17
3.2.1 Diseño experimental	17
3.3 Análisis de los datos	19
3.3.1 Producción y variación estacional de hojarasca	20
3.3.2 Variación anual de hojarasca	20
3.3.3 Cantidades y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio	20
4. RESULTADOS	21
4.1 Producción de hojarasca	21
4.1.1 Variación estacional de la caída de hojarasca	23
4.1.2 Variación anual de la producción de hojarasca	25
4.2 Contenidos y cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio en la hojarasca	26
5. DISCUSIÓN	32
6. CONCLUSIONES	36
7. RESUMEN	38
8. SUMMARY	39
9. BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Ubicación del predio Pichimaule	12
2. Ensayo Pichimaule, recolección de hojarasca	18
3. Caída mensual de hojarasca para el período 1999-2002, para rodales fertilizados y sin fertilizar	22
4. Proporción de la caída estacional de hojarasca a los 3 y 6 años de edad en rodales fertilizados y sin fertilizar	23
5. Variación estacional de la caída de hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar para el período 1999-2002	24
6. Variación anual de la caída de hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar, desde los 3 a los 6 años de edad	25
7. Cantidad de elementos nutritivos acumulados en la hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar desde los 3 a 6 años de edad	26
8. Coeficiente de correlación de pearson (r) de la cantidad y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la hojarasca de rodales testigos y fertilizados desde los 3 a los 6 años de edad	29
9. Variación estacional en la cantidad y contenido de elementos nutritivos en la hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar desde los 3 a los 6 años de edad	30

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Requerimientos ecológicos de <i>Eucalyptus nitens</i> en Chile	3
2. Características de los suelos rojo arcillosos	4
3. Rango de concentración de nitrógeno, fósforo y potasio (%) en bosques de <i>Eucalyptus sp</i> en Australia.	5
4. Biomasa y elementos nutritivos en plantaciones de diferentes especies de <i>Eucalyptus</i> .	6
5. Cantidad de hojarasca según macroclima ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	8
6. Cantidad anual de hojarasca en <i>Eucalyptus diversicolor</i> , Australia.	9
7. Cantidad de nutrientes en la hojarasca de <i>Eucalyptus diversicolor</i> por edad	10
8. Hojarasca anual y retorno de elementos nutritivos en distintos tipos de bosques	10
9. Perfil del suelo del área de ensayo con descripción de características físicas y químicas típicas por horizonte	14
10. Tratamientos de fertilización	16
11. Métodos analíticos para material vegetal	19
12. Cantidad anual de elementos nutritivos en la hojarasca de rodales sin y con fertilización desde los 3 a los 6 años de edad.	27

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones con *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden, de creciente importancia en el sur de Chile, presentan alta tasa de crecimiento y consecuentemente una mayor demanda nutricional en comparación con otras especies de menor crecimiento. Esta demanda, sin embargo, es variable de acuerdo al estado de desarrollo que la plantación presenta. En la primera fase de crecimiento, antes del cierre de copas, ocurre la mayor demanda de elementos nutritivos desde el suelo, cuando aún existe un bajo retorno de material vegetal desde las copas y raíces hacia éste. Es también en esta fase donde predomina la formación de tejidos de las copas y el sistema radicular, de alto contenido nutritivo. Luego de cerradas las copas de los árboles, en una competencia intraespecífica creciente, éstos remueven parte de los elementos nutritivos acumulados en los tejidos para abastecer su creciente demanda nutritiva, ya que el suelo no es capaz de cubrirla en su totalidad. Este proceso provoca la caída de hojas y ramas de la copa baja, de menor acceso a la luz. Los tejidos así desechados dan origen a la hojarasca, la que cae al suelo paulatinamente, donde se acumula formando un mantillo, importante reserva nutritiva para la fauna y flora del suelo y los mismos árboles.

Dentro de este contexto, la cuantificación de la caída de las hojas es necesaria para identificar su importancia en el ciclo de los nutrientes y la proporción que ella aporta al contenido de nutrientes del suelo, debiéndose determinar la cantidad y composición de la materia depositada en el suelo. Los estudios actuales sólo cubren los primeros tres años de una plantación, sin embargo para la precisión del balance nutritivo en rotaciones cortas de *Eucalyptus nitens*, es necesario obtener información hasta después del cierre de copas.

En este sentido, se estableció un ensayo¹ de manejo nutritivo de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre suelo rojo arcilloso, en el año 1996, en la provincia de

¹ Proyecto FONDECYT 1010174 de investigación sobre "Manejo Nutritivo de Plantaciones de *Eucalyptus nitens* hasta la etapa de culminación cuantitativa del Incremento Corriente Anual, en suelo rojo arcilloso de la Décima Región". Proyecto UACH – DID – 5 – 200024 "Productividad y biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento en un suelo arcilloso con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable".

Llanquihue. Este ensayo constituyó la base experimental que permitió cuantificar el rol de la hojarasca en el balance nutritivo del ecosistema.

El presente estudio tiene como objetivo general analizar y cuantificar la biomasa aérea que una plantación de *Eucalyptus nitens* devuelve al suelo en forma de hojarasca, durante el cierre de copas, en un suelo rojo arcilloso con diferentes manejos nutritivos.

Los objetivos específicos son:

- Cuantificar la biomasa aérea que es devuelta al suelo en forma de hojarasca.
- Determinar la estacionalidad de la caída de hojarasca en el ciclo anual.
- Determinar las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio que reintegra la hojarasca al suelo a través del mantillo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterización de la especie *Eucalyptus nitens*

Eucalyptus nitens es una especie exótica de rápido crecimiento, propia de las zonas montañosas del sudeste australiano en donde se conoce también como *shining gum*. Se distribuye en Australia en poblaciones aisladas entre los 30° y 38° latitud sur y en un rango altitudinal de 600 a 1.600 m s.n.m. (INFOR – CORFO, 2004). Además, el elemento fósforo es la principal limitante en los suelos australianos, donde esta especie ha evolucionado (Prado y Barros, 1989). En Chile fue introducida el año 1967 a través del Programa de Introducción de Especies del Instituto Forestal, de acuerdo con los principales requerimientos de la especie, así como por las características edafoclimáticas de la zona de estudio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Requerimientos ecológicos de *Eucalyptus nitens* en Chile

Característica	Requerimiento
Altitud	Hasta 1.000 - 1.300 m s.n.m. en predios cerca de Curacautín.
Temperatura	Resiste temperaturas mínimas de hasta -15°C, pero con daños intensos a la Planta. El crecimiento óptimo se produce con una temperatura media anual que oscila entre 10° C y 15,5° C. Soporta entre 50 y 150 heladas anuales.
Precipitación	Climas húmedos. Áreas con precipitaciones de 800 a 2.000 mm anuales, siendo el máximo desarrollo con precipitaciones superiores a 1.000 mm anuales. Humedad relativa igual o superior a 75%. En verano precipitaciones no inferiores a los 40 mm por mes (excepto trumaos). Soporta períodos secos prolongados, con un máximo de cinco meses secos.
Suelo	De texturas medias a finas. Drenaje bueno, moderado e incluso intermedio. Reacción del suelo ácida a ácida neutra (ph 5-6). Medianamente profundos a profundos (0,5-1,5 m) y moderadamente fértiles con una adecuada cantidad de materia orgánica en sus estratos superiores.
Competencia	Muy susceptible a la competencia, especialmente de gramíneas. Por lo tanto requiere de un adecuado tratamiento en el suelo para un buen desarrollo inicial de sus raíces.

Fuente: McKimm y Flinn (1979); Prado y Barros (1989); Muñoz (2002); INFOR-CORFO (2003, 2004).

En Chile se han establecido más de 300.000 ha de plantaciones de Eucaliptos y específicamente en la Décima Región alcanzan una extensión de 60.000 ha y se encuentran plantadas, en su mayoría, sobre suelos rojo arcillosos entre las provincias de Valdivia y Llanquihue (INFOR - CORFO, 2004).

2.2 Características de los suelos rojo arcillosos

De acuerdo a Besoain (1985), los suelos rojo arcillosos se formaron a partir de cenizas volcánicas antiguas, a veces mezcladas con otros materiales (Cuadro 2). En la zona sur es frecuente encontrarlos sobre morrenas glaciales, areniscas y rocas metamórficas del basamento de la Cordillera de la Costa (Schlatter *et al.*, 1995).

Cuadro 2. Características de los suelos rojo arcillosos

Característica	Descripción
Ubicación	Depresión Intermedia, Talca a Temuco, faldeo oriental de la Cordillera de la Costa desde Victoria a Llanquihue
Material Formador	Cenizas volcánicas antiguas puras o mezcladas con otros materiales sedimentadas sobre conglomerados
Topografía	Plana - ondulada - quebrada
Profundidad	Asociada a la topografía, moderada a profunda
Drenaje	Externo variable según la topografía, interno asociado a la topografía, moderado a lento
Textura	Franca arcillosa a arcillosa
Densidad aparente	Media a alta
Porosidad	Baja a media

Fuente: Besoain (1985).

Schlatter *et al.* (1995) señalan que las principales limitantes de estos suelos son: los bajos niveles de oferta nutritiva, especialmente de nitrógeno, fósforo, potasio y boro; la alta acidez del suelo; la baja a moderada capacidad de agua aprovechable, por la textura arcillosa y estructura cerrada; la variabilidad en su profundidad arraigable y el drenaje interno restringido por las características del subsuelo .

2.3 Elementos nutritivos y biomasa

El contenido de elementos nutritivos en los tejidos de los árboles resulta fundamental para el análisis nutricional de un bosque. No obstante, cada componente de los árboles presenta diferentes contenidos de nutrientes de acuerdo a su función (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rango de concentración (%) de N, P y K en bosques de *Eucalyptus* spp en Australia

Elemento nutritivo	Hojas	Corteza	Ramas	Madera
<i>E. diversicolor</i>				
N	1,00-1,34	0,17-0,18	0,19-0,22	0,039-0,055
P	0,048-0,073	0,014-0,018	0,024-0,027	0,004-0,005
K	0,61-1,28	0,29-0,41	0,29-0,30	0,033-0,056
<i>E. obliqua</i>				
N	0,68-1,36	0,16-0,24	0,13	0,10
P	0,057-0,080	0,006-0,069	0,013-0,040	0,002-0,028
K	0,32-0,45	0,04-0,27	0,06-0,21	0,015-0,175
<i>E. grandis</i>				
N	0,78-3,16	0,22-0,24	0,29-0,55	0,09
P	0,011-0,27	0,015-0,048	0,029-0,090	0,004
K	0,53-1,43	0,24-0,53	0,32-0,57	0,13
<i>E. saligna</i>				
N	0,80-2,94	0,24-0,35	0,20-0,49	0,07-0,13
P	0,025-0,330	0,035-0,190	0,024-0,080	0,002-0,023
K	0,22-1,80	0,17-0,65	0,22-0,49	0,045-0,150

Fuente: Judd *et al* (1996).

Los tejidos más activos, como las hojas y raíces finas, presentan un mayor contenido en elementos nutritivos que tejidos de sostén como la madera (Schlatter, 1996). Además, las concentraciones de nutrientes se ven influenciadas por el sitio (Judd *et al.*, 1996). El clima influye sobre el contenido de elementos nutritivos a través del balance hídrico. En períodos secos los elementos móviles bajan su concentración y otros elementos suben proporcionalmente. En períodos húmedos es lo contrario (Schlatter, 1996).

Por otra parte la demanda nutritiva de un bosque o plantación forestal cambia con la edad del bosque (Cuadro 4). En la primera etapa de crecimiento de una plantación los árboles producen principalmente tejido de alta demanda nutritiva (follaje, ramas nuevas, raíces finas), sin que se produzca durante este proceso un retorno significativo de estos tejidos al suelo. Después del cierre del dosel retorna al suelo una cantidad considerable de elementos nutritivos a través de la hojarasca y raíces finas, la que una vez liberada por los procesos de descomposición y mineralización (reciclaje), bajan la proporción de los nutrientes que los árboles obtienen exclusivamente desde las reservas del suelo. En esta etapa denominada acumulación-producción se presentan los problemas nutritivos más importantes. Finalmente, la demanda de nutrientes va disminuyendo con la edad de los árboles (Cromer *et al.*, 1993 b; Schlatter, 1996).

Cuadro 4. Biomasa y elementos nutritivos en plantaciones de *Eucalyptus nitens*

Componente del árbol	Biomasa (t ha ⁻¹)	N	P (kg ha ⁻¹)	K	Fuente	
4 años	Hojas	15,5	203,3	10,3	81,8	Aparicio (2001)
	Ramas	15,5	55,9	2,1	47,2	
	Corteza	8,2	50,8	3,4	47,2	
	Madera	51,9	101,7	5,6	100,6	
	Total	91,1	411,7	21,4	276,8	
7 años	Hojas	11,0-12,0	157-173	8,6-9,0	42,0-63,8	Muñoz (2002)
	Ramas	3,1-5,8	8,4-15,6	0,1-1,1	8,1-15,9	
	Corteza	13,2-9,7	44,0-59,9	3,0-4,3	38,2-66,9	
	Madera	92,1-95,7	174-202,4	14,4-20,7	130,9-169,9	
	Total	124,4-129	404,9-473,5	27,4-37,5	231,1-341,1	

Las hojas son los tejidos que tienen la concentración de nutrientes más alta y, por tanto, mayor demanda. A medida que los árboles crecen la acumulación proporcional de nitrógeno es mayor en la madera.

En un balance nutritivo es necesario diferenciar la demanda nutritiva total del rodal, es decir, lo que éste requiere para su desarrollo, el abastecimiento nutritivo proveniente desde el suelo y el abastecimiento nutritivo por el reciclaje.

La distribución de nutrientes está estrechamente relacionada con la partición de la biomasa (Grove *et al.*, 1996). Al respecto, Judd *et al.* (1996) señalan que el follaje representa sólo un pequeño porcentaje del total de la biomasa del árbol, disminuyendo con la edad, representando alrededor del 2% en bosques maduros, por lo que, mientras los nutrientes tienden a ser más concentrados en el follaje que en otros componentes, su contribución para el total de nutrientes es comparativamente pequeña. Bonomelli y Suarez (1999), en plantaciones de *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus*, determinaron que las hojas son el componente de la biomasa aérea que presentó la mayor concentración de nutrientes y el componente madera la menor, concluyendo que a medida que aumenta la proporción de la madera en la biomasa total y disminuye la de las hojas, los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio disminuyen por unidad de biomasa. Por otra parte, también establecieron que las tasas de acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en el primer año de crecimiento de los árboles fertilizados fueron bajas y aumentaron en el segundo y tercer año, obteniendo de una plantación fertilizada de *Eucalyptus nitens* a los tres años de edad, tasas de acumulación anual de 214 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 23 kg ha⁻¹ de fósforo y 142 kg ha⁻¹ de potasio, siendo dos o tres veces mayores que la de los árboles no fertilizados.

2.4 La hojarasca y su aporte en elementos nutritivos

La hojarasca es el flujo de materia vegetal que proviene de los árboles y se acumula sobre el suelo formando el mantillo. La hojarasca foliar es la principal fuente de nutrientes del suelo forestal (Vitousek y Sanford, 1986) y representa el 80% del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos del árbol (Santa Regina *et al.*, 2001). La producción de hojarasca tiene una función predominante en la mantención de la productividad de un ecosistema forestal. De hecho, la cantidad y composición de la materia depositada en el suelo y su posterior descomposición son factores importantes en la eficacia del ciclo de nutrientes (Huber *et al.*, 1984). La cantidad y naturaleza de la hojarasca tienen una importante relación con la formación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad, de ahí que la cuantificación de su producción y naturaleza sea una importante aproximación para la comprensión de los bosques y del ciclaje de nutrientes (Rai y Proctor, 1986). La acumulación de hojarasca en el suelo, conjuntamente con la

materia orgánica proveniente de la descomposición de las raíces, constituye la fuente esencial de energía y bioelementos para la microflora y la fauna edáfica y esta interacción entre la vegetación y el suelo se manifiesta en el proceso cíclico de entrada y salida de nutrientes en un ecosistema. Por ello la importancia de las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca, la cual está regulada principalmente por procesos biológicos y factores climáticos, aunque también son relevantes la topografía, las condiciones edáficas, la especie vegetal, la edad y la densidad del bosque (Huber *et al.*, 1984). La hojarasca puede verse afectada por factores físicos, como la acción mecánica del viento y la lluvia o la respuesta fisiológica de las plantas a los cambios ambientales (Delitti, 1998).

Toda información sobre la producción de hojarasca y su contenido en elementos nutritivos es un antecedente importante para entender mejor el impacto ecológico y económico de la reforestación (Huber *et al.*, 1984). En Chile, pocos son los antecedentes disponibles que dicen relación con la cantidad de hojarasca producida por los eucaliptos, su velocidad de mineralización e importancia en el ciclo de nutrientes.

La cantidad de desechos que cae al piso está asociada al nivel de producción del bosque. Si el bosque crece a mayor intensidad, también producirá mayor cantidad de desechos (Schlatter, 1996). La menor disponibilidad de luz y calor a latitudes mayores resulta en un período vegetativo más corto, reduciéndose el rendimiento en materia seca en esos ecosistemas. A latitudes menores, donde existen más recursos de energía, la reducción se debe principalmente a la falta de agua o su inadecuada distribución (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad de hojarasca según macroclima (kg ha⁻¹ año⁻¹).

Macroclima	Promedio	Rango
Artico-Alpino	1.000	800 - 1.500
Frio-Templado	3.500	1.000 - 6.000
Templado-Cálido	5.500	3.000 - 8.000
Ecuatorial	10.900	6.000 - 15.000

Fuente: Schlatter (1996)

El ritmo del crecimiento y de la producción anual de desechos disminuye desde las zonas tropicales a climas más fríos; en estos últimos los procesos son más lentos y de tendencia estacional, especialmente si el bosque es de especies caducifolias.

Bargali y Singh (1991), citados por Bonomelli *et al.* (2002), señalan que las hojas son el componente de mayor almacenaje de nutrientes y el más activo metabólicamente. Los eucaliptos presentan hojas juveniles, intermedias y adultas. Al respecto, diversos estudios indican que la persistencia de las hojas juveniles e intermedias es de un año y la de las hojas adultas de 2 a 3 años.

Estudios realizados en Australia (Cuadro 6), demostraron que la caída de las hojas en *E. marginata* y *E. diversicolor* varía de acuerdo a la estación, con la máxima caída durante el verano. Otro trabajo realizado en Chile por Bonomelli *et al.* (2002), señala que la caída de las hojas en *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus*, ocurre principalmente durante los meses de primavera y verano, que es el período de mayor estrés hídrico. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Frederick *et al.* (1986) en *E. nitens* a los 5 años de edad, Aparicio (2001) en la misma especie a los 45 meses de edad y por Schlatter *et al.* (2006) en *E. nitens* entre los 4 y 7 años de edad.

Cuadro 6. Cantidad anual de hojarasca en *Eucalyptus diversicolor*, Australia

Componente (t ha ⁻¹)	Rango de edad (años)				
	2	6	9	40	maduros
Hojas	1,00	1,64	2,14	2,70	2,23
Hojas estrato inferior	0,01	1,43	0,91	1,15	1,31
Ramas	0,03	0,21	0,74	1,74	2,05
Otros ¹	0,09	0,41	0,67	1,56	3,86
Total	1,13	3,70	4,46	7,15	9,45

¹Incluye corteza, frutos y componente floral

Fuente: O'Connell y Grove (1996).

La cantidad de elementos nutritivos de las hojas caídas está directamente relacionada con la biomasa y con su contenido de elementos. Negi *et al.* (1996)

señalan que la cantidad de elementos nutritivos en la hojarasca varía con la producción de follaje y con la concentración de nutrientes en las hojas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cantidad de nutrientes en la hojarasca de *Eucalyptus diversicolor* por edad

Edad (años)	N	P	K
	(kg ha ⁻¹ año ⁻¹)		
2	8,6	0,47	9,2
6	32,5	0,99	16,6
9	33,8	0,85	13,7
40	49,3	1,4	17,2
Maduro	58,1	1,89	31,7

Fuente: O'Connell y Grove (1996).

La producción de hojas depende del sitio y la hojarasca es máxima en sitios húmedos, cálidos, fértiles y altamente productivos y mínima en sitios secos, fríos, infértiles y de pobre productividad (Cuadro 8).

Cuadro 8. Hojarasca anual y retorno de elementos nutritivos en distintos tipos de bosques

Bosque	Edad años	Hojarasca t ha ⁻¹ año ⁻¹	Elementos nutritivos			Fuente
			kg ha ⁻¹ año ⁻¹			
			N	P	K	
E. Camaldulensis (U.P.)	20	16,8	188	18	149	Sin información
E. hybrid (U.P.)	14	7,1	56	5	40	Sharma y Pande 1989
E. hybrid (U.P.)	5	3,4	31	2	16	George 1977
E. hybrid (U.P.)	7	3,8	32	2	17	George 1977
E. hybrid (U.P.)	10	6,2	57	4	29	George 1977
Eucalyptus spp. (T.N.)	A1	2,4	10	0,5	2,3	Negi et al. 1988
E. globulus (T.N.)	12	1,9	31	1	4	Venkataramanam <i>et al.</i> 1983

UP: Uttar Pradesh, suelo fértil.

T.N.: Tami Nadu, suelo infértil

¹Maduro

Fuente: Negi y Sharma (1996)

Grove *et al.* (1996), respecto al ciclo interno de los elementos nutritivos en la planta, señalan que la utilización de éstos es máxima en los árboles a través de su almacenaje adecuado y su posterior eficiencia de redistribución. Esto sucede con los elementos móviles, los que en los tejidos senescentes se movilizan en una gran proporción hacia los centros de crecimiento. Las variaciones del contenido, desde que las hojas llegan a la madurez hasta su senescencia, permite estimar la cantidad de elementos movilizados, que contribuye al crecimiento de los árboles a través del ciclo interno de nutrientes.

La redistribución nutritiva en los tejidos vegetales se inicia significativamente en el segundo año y aumenta en el tercer año, alcanzando su magnitud máxima cuando el árbol ha completado su estructura foliar. Durante este período los árboles dependen fundamentalmente del suministro de nutrientes del suelo y de la fertilización. La reutilización interna de los nutrientes ayuda a superar los déficit nutricionales que pueden presentarse (Bonomelli *et al.*, 2002).

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Material

3.1.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se ubicó en el predio Pichimaule, propiedad del Sr. Johann Pürstinger, a una altitud aproximada de 200 m s.n.m. en la precordillera costera de la X Región, provincia de Llanquihue, comuna de Fresia (41°01'S – 73°27'O), a 1,2 km de Tegalda (Figura 1). Según la tipología forestal, el área en la que se encuentra el ensayo corresponde a la distribución natural del tipo forestal siempreverde (Donoso, 1994; CONAMA – CONAF, 1997). Originalmente estos terrenos fueron cubiertos por este tipo de vegetación, pero posteriormente fueron habilitados para el uso agrícola y/o ganadero. Por ello, hace varias décadas fueron explotados, rozados y quemados en la mayoría de los casos, convirtiéndose esencialmente en praderas de pastoreo y ocasionalmente para cultivos de trigo (Fajardo, 1975).



Figura 1. Ubicación del predio Pichimaule.

3.1.2 Clima

Según Köppen (Donoso, 1992) el clima del sector corresponde al de costa occidental con influencia mediterránea. En tanto INIA (1989) lo caracteriza como mediterráneo frío.

Se caracteriza por un régimen térmico invernal desfavorable a moderado, con inviernos rigurosos de 20 – 30 heladas al año y un periodo libre de heladas en el año de 150 – 200 días y con una temperatura mínima anual de -6° C en un mes del año. Presenta un régimen de humedad anual moderado, con una precipitación anual elevada de 1.600 – 2.000 mm, con excedentes para el consumo de la vegetación y un periodo seco de hasta 1 – 2 meses al año; y un moderado régimen de humedad estival. El índice hídrico estival de 0,5 – 0,8 indica mayor evapotranspiración que precipitaciones en ese periodo. La humedad relativa es de 75 – 80% (Schlatter *et al.*, 1995).

Las principales limitantes del sitio para el desarrollo vegetal son: la frecuencia de heladas y la ocurrencia de periódicas heladas pronunciadas, además de un período de 1 – 3 meses relativamente secos en verano (Schlatter *et al.*, 1995).

3.1.3 Suelos

El ensayo se ubica en un suelo rojo arcilloso de la serie Crucero, miembro de la familia media, métrica de los Acrudoxic Hydric Hapludands (Andisol) (CIREN, 2001), en una fisiografía de transición entre la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa en un sector de lomajes altos. La geomorfología se caracteriza por terrenos de lomajes y colinas, en posición intermedia, caracterizada por pendientes complejas entre 5 y 10%. El sustrato geológico está constituido por conglomerados volcánicos andesíticos y basálticos, muy alterados, ocasionalmente asociados a tobas volcánicas de similar composición (IREN, 1978). El área de crecimiento se caracteriza por presentar suelos profundos, originados a partir de cenizas volcánicas depositadas sobre sedimentos fluvio-glaciales (Cuadro 9), con una profundidad total superior a los 140 cm, con drenaje interno moderado, una densidad aparente de $0,74 \text{ g cm}^{-3}$ entre 0 – 20 cm, y el material parental corresponde a cenizas volcánicas antiguas; textura

dominante arcillosa y una elevada capacidad de agua aprovechable. El suelo es moderadamente fértil. Se caracteriza por su elevada acidez, muy baja disponibilidad de fósforo y moderada a alta capacidad de fijación de este elemento, producto de sus altos niveles de aluminio extractable, con altos niveles de materia orgánica, nitrógeno y potasio (Staub, 2000).

Cuadro 9. Perfil del suelo del área de ensayo con descripción de características físicas y químicas típicas por horizonte²

Profundidad (cm)	pH H ₂ O	Ct %	Nt %	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Al mg kg ⁻¹	Sat. Al %	Dens. ap. g/cm ³	Textura ¹	CAA mm
0-7	5,4	7,1	0,5	5	210	1510	6	0,59	IT	22,4
7-20	5,4	6,4	0,4	5	120	2230	46	0,82	uT	32,5
20-38	5,6	4,3	0,2	5	70	1980	25	0,79	uT	41,4
38-80	5,9	2,7	0,2	1	36	1900	8	0,78	uT	88,2
80-105	5,9	2,8	0,2	1	24	1940	7	0,82	T	55,2
105-140+	5,9	2	0,1	1	18	1590	31	1	T	21

¹I:franca, u:limosa, T:arcilla. ²Fuente: Staub (2000)

3.1.4 Establecimiento del ensayo

En marzo de 1996 se inició la preparación del terreno con un control químico de malezas, aplicando herbicidas en toda la superficie del ensayo (32,7 ha), utilizando los siguientes productos: Garlón 4, Roundup, Gesatop, MCPA y Li 7000. En mayo del mismo año se realizó un subsolado a 50-70 cm de profundidad en las líneas de plantación.

En junio de 1996 se llevó a cabo una fertilización preplantación, estableciéndose tres áreas experimentales, dos de ellas con fósforo de baja solubilidad (Bifox y Roca fosfórica Carolina del Norte) y una tercera área de control sin fertilización (Cuadro 10). La aplicación del fertilizante se concentró sobre bandas de 1,1 m de ancho mezclado con rotocultivador hasta 10 cm de profundidad, sobre las líneas de subsolado.

La plantación se estableció en junio de 1996 a una densidad de 1.666 plantas ha⁻¹ a un espaciamiento de 4 m x 1,5 m, con plantas producidas en contenedores con semilla de Macalyster (Victoria Central, Australia) y seleccionadas por altura (25–30 cm) y diámetro de cuello (4 mm). Se realizaron controles de malezas pos-plantación, un control químico en octubre de 1996 y controles manuales al segundo y cuarto año (Aparicio, 2001).

Los tratamientos de fertilización posplantación aplicados incluyeron:

- Testigo sin fertilización
- Fertilización sólo al establecimiento
- Fertilización al establecimiento + primer año
- Fertilización al establecimiento + primer año + tercer año

Las combinaciones de fertilización consideran una fuente de fósforo de alta solubilidad (superfosfato triple) y otros fertilizantes como urea (N), sulfatos de potasio, cobre y zinc, además de boronatrocalcita (B) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Tratamientos de fertilización.

Fertilización preplantación	Fertilización posplantación			Tratamiento (5)	
	Octubre 1996 (2)	Septiembre 1997 (3)	Agosto 1999 (4)		
Aplicación Base Junio 1996 (1)	Sin Fertilizar	Sin Fertilizar	Sin Fertilizar	B01 - raleado	
Bifox 48 kg ha ⁻¹ de P (8 ha)	135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes	Sin Fertilizar	Sin Fertilizar	B02 - raleado	
		48 kg ha ⁻¹ P, 45 N, 10 K, B, Cu, y Zn	Sin Fertilizar	B03* - raleado	
			100 kg ha ⁻¹ P y 230 Kg ha ⁻¹ N	Sin Fertilizar	B04* - raleado
				Sin Fertilizar	
Roca fosfórica Carolina del norte 53 kg ha ⁻¹ de P (6,1 ha)	135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes	Sin Fertilizar	Sin Fertilizar	R05 - raleado	
		48 kg ha ⁻¹ P, 45 N, 10 K, B, Cu, y Zn	Sin Fertilizar	R06 - raleado	
			100 kg ha ⁻¹ P y 230 Kg ha ⁻¹ N	Sin Fertilizar	R07* - raleado
				Sin Fertilizar	R08* - raleado
Testigo Control sin fertilización base (8,6 ha)	135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes	Sin Fertilizar	Sin Fertilizar	T09* - sin raleo	
		96 kg ha ⁻¹ P, 45 N, 10 K, B, Cu, y Zn	Sin Fertilizar	T10 - sin raleo	
			112 kg ha ⁻¹ P y 230 Kg ha ⁻¹ N	Sin Fertilizar	T11* - sin raleo
				Sin Fertilizar	T12* - raleado

1. Aplicación preplantación, junto con la preparación del suelo.
2. Fertilizante: fuente de N se usó urea, de P superfosfato triple y de K sulfato de potasio. Zn y Cu como sulfatos; B, boronatrocalcita.
3. Fertilizante: N, urea; P, superfosfato triple (según oferta en el suelo); K, muriato. 48 kg de boronatrocalcita, 5 kg de sulfato de Cu y 5 kg de sulfato de Zn.
4. La fertilización se realizó al voleo, en toda la superficie del rodal. P, superfosfato triple (según oferta en el suelo); N, supernitro.
5. Cada tratamiento (parcelas 1 a la 12) abarca una superficie de 50 x 50 m (2.500 m²), en un diseño de bloques al azar.
* Primeros siete tratamientos establecidos en agosto de 1999, los otros 5 tratamientos establecidos en junio 2001

En octubre de 1996 se llevó a cabo la primera fertilización posplantación. El fertilizante se aplicó en dos bandas de 40 cm de largo, 5 cm de ancho, a 5 cm de profundidad y entre 5 y 10 cm de distancia de la planta.

Un año después (1997), se fertilizó nuevamente, sólo a la mitad de las parcelas establecidas el año 1996. El superfosfato triple se aplicó en diferentes dosis, considerando la fertilización base, y el resto de los fertilizantes se aplicaron en dosis fijas para todos los tratamientos. La fertilización se realizó al voleo, en fajas junto a las hileras de los árboles.

En agosto de 1999 se realizó una nueva fertilización en una de las subparcelas fertilizadas el año 1997 y consistió en aplicar dosis de nitrógeno y fósforo. La fertilización se realizó al voleo en toda la superficie del rodal.

Las dosis de fertilizantes aplicadas al primer y tercer año se determinaron de acuerdo a un análisis de la oferta del suelo, de la fertilización preplantación y de la demanda esperada, en función del crecimiento observado.

En el invierno 2001 específicamente en el mes de junio se aplicó un raleo a la plantación disminuyendo aproximadamente en un 50% el número de árboles por parcela, extrayéndose sólo la madera luego del desrame y descortezado en el lugar, desechos que permanecieron sobre el suelo.

3.2 MÉTODO

3.2.1 Diseño experimental

A fines de agosto de 1999 se instalaron en siete de los 12 tratamientos expuestos en cuadro 10, seis canastillos recolectores de hojarasca por parcela, de 50 cm x 50 cm, con fondo de malla plástica, ubicados a 15 cm del suelo, y distribuidos al azar en dos grupos de tres canastillos. Este esquema de recolección de muestras se utilizó desde septiembre 1999 hasta mayo 2001, al mes siguiente en junio 2001 se amplió tanto el número de tratamientos (de 7 a 12) como también de canastillos (de 6 a 9) por parcela (Figura 2). Los canastillos recolectores fueron ubicados por grupos de tres, distribuidos al azar. En cada grupo los tres canastillos fueron ubicados en forma sistemática, uno en la hilera de plantación (posición A), otro entre hileras (posición C) y el tercero equidistante entre ambos (posición B).

Las muestras fueron recolectadas mes a mes, con algunas dificultades en el invierno 2001, por las siguientes razones:

- Ampliación del número de canastillos en invierno 2001.
- Raleo de la plantación en invierno 2001, lo que interrumpió temporalmente la recolección.

Tales inconvenientes fueron superados en el trimestre de primavera 2001, pudiéndose continuar con las mediciones regularmente.

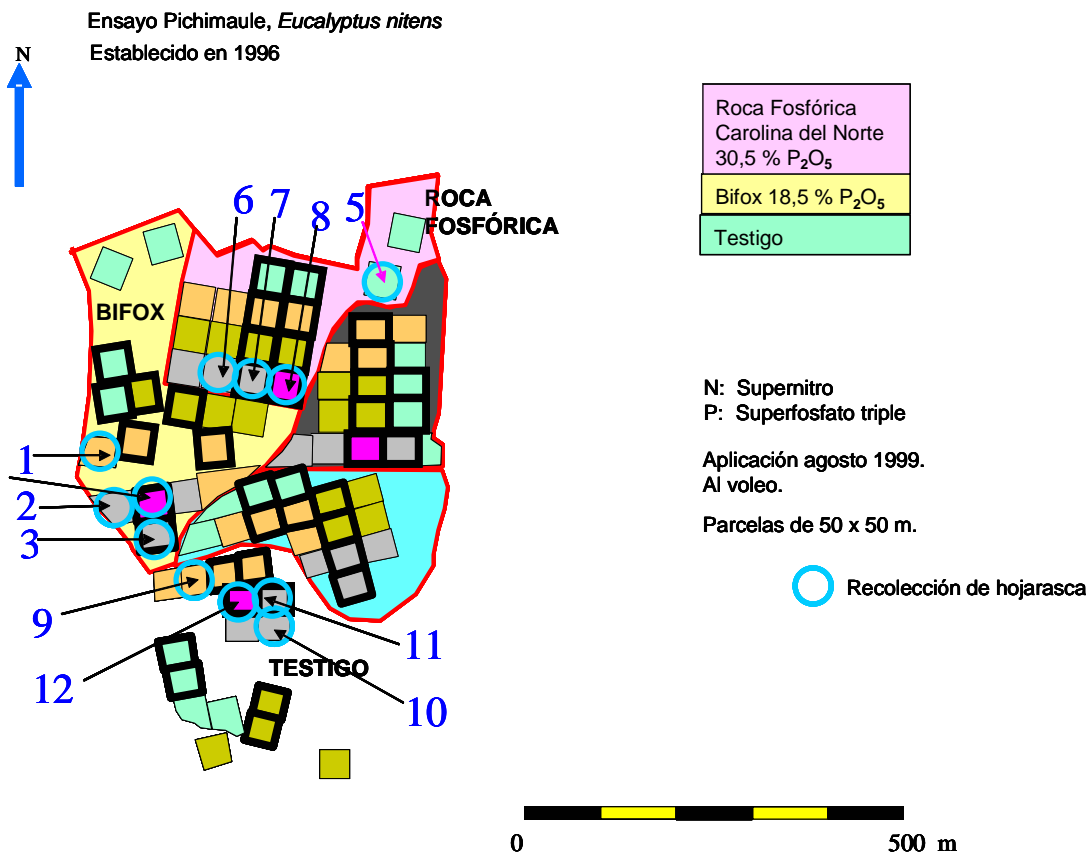


Figura 2. Ensayo Pichimaule, recolección de hojarasca.

La hojarasca recolectada desde septiembre de 1999, fue secada en estufa a 75° C durante 36 horas, determinándose el peso seco por canastillo recolector. Con el material recolectado de cada estación del año (primavera, verano, otoño e invierno) se prepararon muestras mezcla de tres recolectores c/u, reduciéndose para un primer grupo de siete tratamientos y seis canastillos por parcela, el total de 42 a 14 muestras y en el segundo grupo de doce tratamientos y nueve canastillos por parcela de 108 a 36.

Obtenidos los pesos secos de la hojarasca y los contenidos de cada elemento nutritivo presente en esa biomasa, se calculó la cantidad de elementos nutritivos mediante la siguiente fórmula: $Q_{ij} = B_j \times C_{ij} \times K$

Donde: Q_{ij} = cantidad del elemento i en la biomasa del componente j (kg ha^{-1}).
 B_j = biomasa del componente j (kg ha^{-1}).
 C_{ij} = contenido del elemento i en el componente j.
 $K = 1/100$, para C_{ij} expresado en porcentaje.

En estas muestras se determinaron los contenidos de los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo y potasio en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Instituto de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile (Cuadro 11).

Cuadro 11. Métodos analíticos para material vegetal

Elemento	Método	Procedimiento
N	Kjeldahl	Digestión con H_2SO_4 , determinación colorimétrica
P	Calcinación y digestión	Mufla a 500°C y digestión (HCl 10%), determinación por colorimetría
K	Calcinación y digestión	Mufla a 500°C y digestión (HCl 10%), determinación por espectrofotometría de absorción atómica

3.3 Análisis de los datos

Para explicar los resultados obtenidos en este trabajo se consideraron sólo tres tratamientos de los doce que se implementaron para las diferentes situaciones de sitio y fertilización (Cuadro 10). Estos fueron seleccionados a razón de poder analizar los modelos de comportamiento de la producción de hojarasca en diferentes condiciones de fertilización y para todo el período del estudio, es decir entre los tres y seis años de edad.

Los tratamientos seleccionados fueron:

- Rodal testigo sin fertilización, sin raleo (T09)
- Rodal fertilizado con Bifox, raleado (B04)
- Rodal fertilizado con Roca fosfórica, raleado (R08)

Cabe destacar que para los demás tratamientos de igual forma se graficó el comportamiento de la hojarasca, información que se puede observar en los anexos I y II de este trabajo.

3.3.1 Producción y variación estacional de hojarasca

Una vez procesados y validados los datos de terreno y laboratorio se calcularon valores de dispersión central, promedios, desviación estándar y gráficos que permitieron explicar y modelar el comportamiento de la producción mensual y estacional de hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar entre los 3 y 6 años de edad .

3.3.2 Variación anual de hojarasca

Se realizó un análisis de comparación de medias para identificar diferencias de igualdad para tratamientos fertilizados y sin fertilizar en los diferentes períodos de edad, se utilizó el estadígrafo “w” de kendall para muestras relacionadas. Para determinar diferencias entre tratamientos en un mismo período se aplicó el estadígrafo de Mann-Whitney para muestras independientes.

3.3.3 Cantidades y contenidos de nitrógeno, potasio y fósforo

Se obtuvieron medidas de tendencia central y se midió la correlación de pearson (r) para establecer como variaron las cantidades y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio respecto de la cantidad de hojarasca producida en los períodos de estudio.

Para todas las pruebas estadísticas, las diferencias se consideraron como significativas al 95% ($p < 0,05$). Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS versión 10.0 para Windows.

4. RESULTADOS

4.1 Producción de hojarasca

Se registró una producción de hojarasca de 7 a 11 t ha⁻¹ año⁻¹ entre los 3 y 4 años de edad de la plantación en el período de cierre de copas; en los años siguientes el aporte anual de hojarasca en el suelo fue menor y fluctuó entre los 4 y 6 t ha⁻¹año⁻¹. El primer mes de mediciones en septiembre de 1999 la producción de hojarasca fue muy baja. En el piso de los rodales analizados sólo existía una acumulación escasa de hojas, limitada fundamentalmente a las hileras de árboles. En cantidad acumulada en el mantillo de los rodales fertilizados, de reciente formación, destacaba el tratamiento B04, el de máxima fertilización, cuya producción de hojarasca se había adelantado por inicio de cierre de copas de los árboles¹. Sin embargo, a partir de octubre de 1999 la máxima producción de hojarasca se registró en el rodal T09 en pleno período de su cierre de copas, específicamente en los meses de noviembre, con 3,6 t ha⁻¹ y diciembre con 2,2 t ha⁻¹ (Figura 3). Los rodales fertilizados también presentaron la misma tendencia para el período, pero las cantidades máximas de hojarasca fueron inferiores en aproximadamente un 50 % en relación al testigo, inclusive antes del raleo. Destacable es el hecho de que la acumulación de hojarasca independiente del tratamiento presenta un modelamiento claramente definido con máximos en período estival y mínimos en invierno, a su vez el rodal T09 es el único que aumentó su producción de hojarasca luego del año 2001 producto de un raleo a la plantación en junio de ese año (Figura 3).

¹Comunicación personal del Profesor Juan Schlatter, Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile.

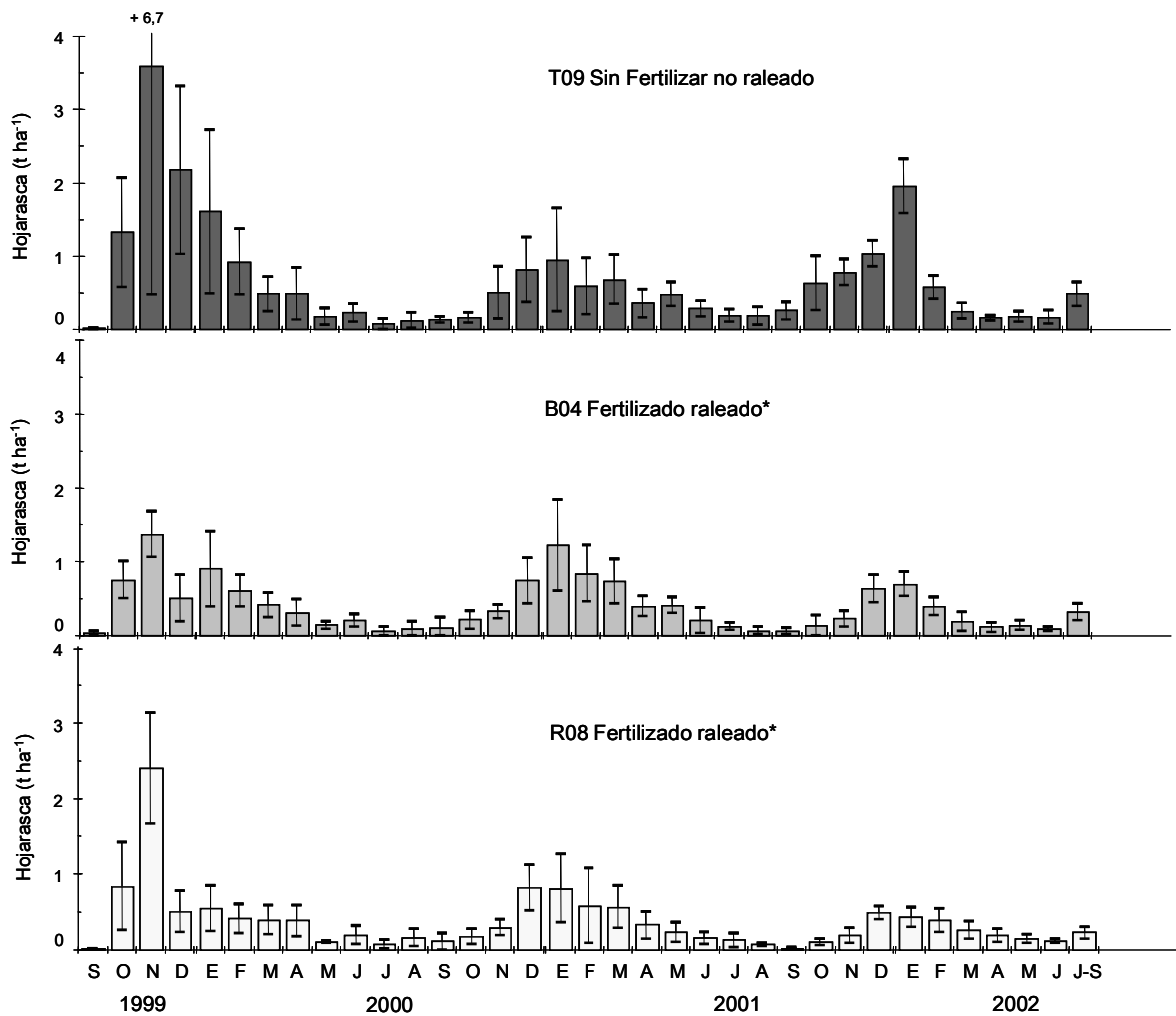


Figura 3. Caída mensual de hojarasca para el período 1999-2002, en rodales fertilizados y sin fertilizar (promedio y desviación estándar).

* Tratamientos raleados en junio 2001.

El mayor aporte mensual de desechos luego de cerradas las copas ocurrió en el periodo estival (diciembre – febrero) de cada año, es decir, en la etapa de mayor estrés hídrico, siendo enero el mes de mayor caída (Figura 3). En el rodal testigo se obtuvieron en el mes de enero 1,6, 1,0 y 1,9 t ha⁻¹ para los años 2000, 2001 y 2002, respectivamente. En los rodales fertilizados la tendencia fue similar, en enero se produjo mayor cantidad de hojarasca, registrándose un promedio de 0,7, 1,0 y 0,6 t ha⁻¹ para los años 2000, 2001 y 2002, respectivamente. Por otra parte, los valores menores se registraron en julio y agosto de cada año, siendo similares las tendencias entre el testigo y los rodales fertilizados. La máxima producción mensual de hojarasca en todos los rodales fue aproximadamente 15 veces mayor que la mínima mensual.

En los meses de mayor caída el rodal sin fertilización mostró una alta dispersión en producción de hojarasca en comparación con los rodales fertilizados que presentaron desviaciones más homogéneas a lo largo de todo el período del estudio (Figura 3).

4.1.1 Variación estacional de la caída de hojarasca

La caída de hojarasca en los rodales fertilizados y sin fertilizar mostró una estacionalidad muy marcada, en donde los mayores aportes siempre se concentraron de diciembre a marzo, destacando especialmente el proceso de cierre de copas a los 3 años de edad. En el año 1999 la producción de hojarasca de los rodales con y sin fertilización, además de ser mayor en ese período, fue bastante homogénea entre primavera y verano, a diferencia del período 2001-2002 en que la tendencia en acumulación estacional se mantuvo. Sin embargo, la caída fue definitivamente superior en verano (55%) por sobre las demás estaciones (Figura 4).

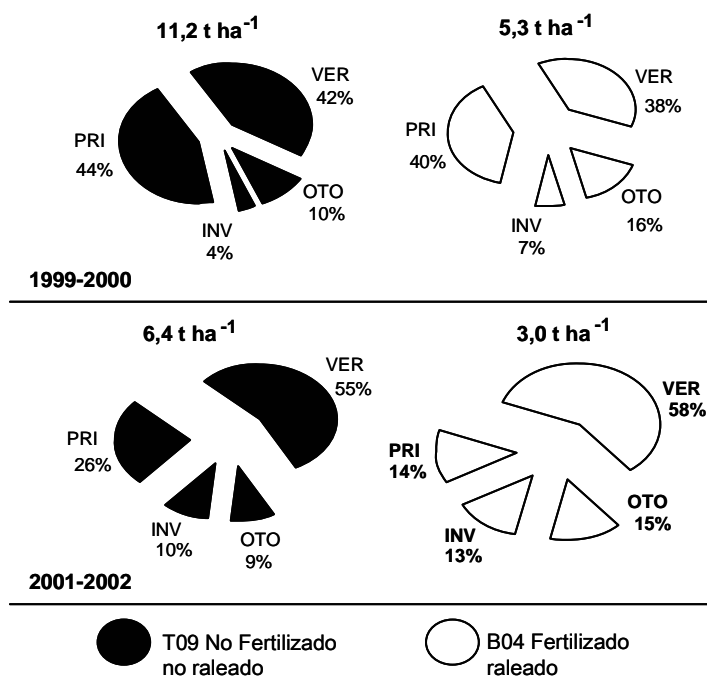


Figura 4. Proporción de la caída estacional de hojarasca a los 3 y 6 años de edad en rodales fertilizados y sin fertilizar. Raleo en junio 2001.

El rodal T09, sin fertilización, produjo la mayor cantidad de hojarasca durante la primavera de 1999, en tanto para el mismo período los rodales fertilizados (B04 y R08) registraron menor caída de material vegetal (Figura 5). Esta situación se podría explicar, en el caso del rodal B04, por su etapa de crecimiento más avanzada respecto del testigo, iniciando éste la producción de hojarasca en un período vegetativo anterior. Su crecimiento inicial y cierre de copas más rápido, como consecuencia de la fertilización², generó una producción de hojarasca adelantada, que en el momento de la medición, analizada en este estudio, ya se había estabilizado. El caso de R08, en cambio es distinto, porque la cantidad de producción de hojarasca está relacionada aquí con un crecimiento menor del rodal, a pesar de haber sido fertilizado. En el período posterior a junio 2001 se observó también menor cantidad de hojarasca producida por los rodales fertilizados debido al raleo aplicado en ese mes a toda la plantación y que solamente excluyó al rodal testigo (Figura 5).

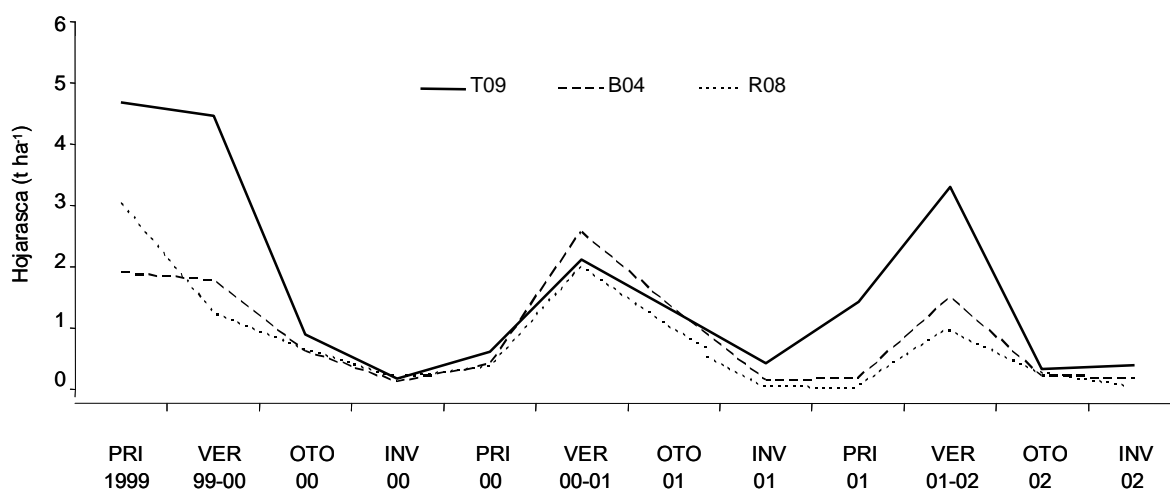


Figura 5. Variación estacional de la caída de hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar para el período 1999-2002 (B04 y R08 raleados en junio 2001), *E. nitens*, Pichimaule, Fresia, X Región.

²Comunicación personal del Profesor Juan Schlatter, Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile.

4.1.2 Variación anual de la producción de hojarasca

Las cantidades anuales de hojarasca mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos T09, B04 y R08 para los períodos 1999-2000 y 2001-2002, en el periodo 2000-2001 no hubo diferencias entre tratamientos ($p > 0,05$) (Figura 6a). Al analizar la producción de hojarasca de cada tratamiento en distintos períodos, el rodal sin fertilizar T09 no presentó diferencia estadística ($p > 0,05$); en tanto en el rodal fertilizado B04 si se identificaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los períodos 2000-2001 y 2001-2002. Por su parte el tratamiento R08 presentó diferencia estadística entre los períodos 1999-2000 y 2001-2002. Este hecho denota la influencia que tuvo el raleo sobre la producción de material vegetal en los rodales fertilizados desde el segundo semestre del año 2001 en adelante y el menor crecimiento del rodal R08 a pesar de su fertilización (Figura 6b).

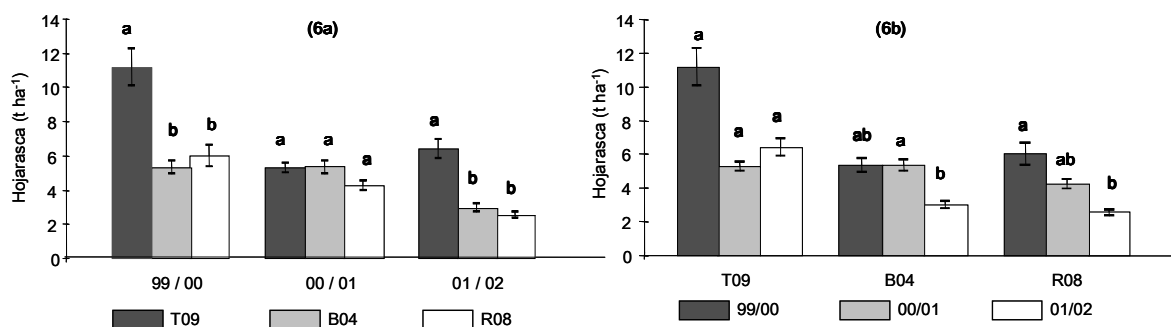


Figura 6a y (6b). Variación anual de la caída de hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar, promedio y desv.standard desde los 3 a 6 años de edad (período 1999-2002). Raleo en rodales fertilizados en el año 2001.

Para el rodal sin fertilizar (T09) se alcanzó una producción máxima de $11,0 \text{ t ha}^{-1}$ y su caída promedio anual fue de $9,6 \text{ t ha}^{-1}$. En tanto, en los tratamientos fertilizados se acumuló un máximo de $7,91 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y en promedio los rodales fertilizados acumularon $6,7 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Una vez que el rodal sin fertilizar logró superar esta dinámica etapa de cobertura del espacio aéreo entre los 3 y 4 años de edad, se apreció que la hojarasca caída en el rodal testigo respecto de los fertilizados tendió a homogenizarse, lo que se apreció también en el modelamiento de la producción de hojarasca en la figura 3. La cantidad de hojarasca promedio producida por los rodales testigos a los 5 y 6 años de edad

fue de $5 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, por su parte los rodales fertilizados muestran un aporte promedio de hojarasca de 3 a $4 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Como fue comentado con anterioridad los rodales fertilizados presentaron una fuerte disminución en la producción de hojarasca a partir de septiembre del año 2001 en relación al aporte del rodal T09 sin fertilizar, esto porque en junio del 2001 se realizó un raleo el cual incidió en una pérdida de cobertura aérea de los rodales fertilizados.

4.2 Contenidos y cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio en la hojarasca

Tanto en los rodales fertilizados como en los sin fertilizar, el nitrógeno es el elemento que se encontró en mayor cantidad, seguido del potasio y el fósforo en orden decreciente para el período entre 3 y 6 años de edad de la plantación (Figura 7).

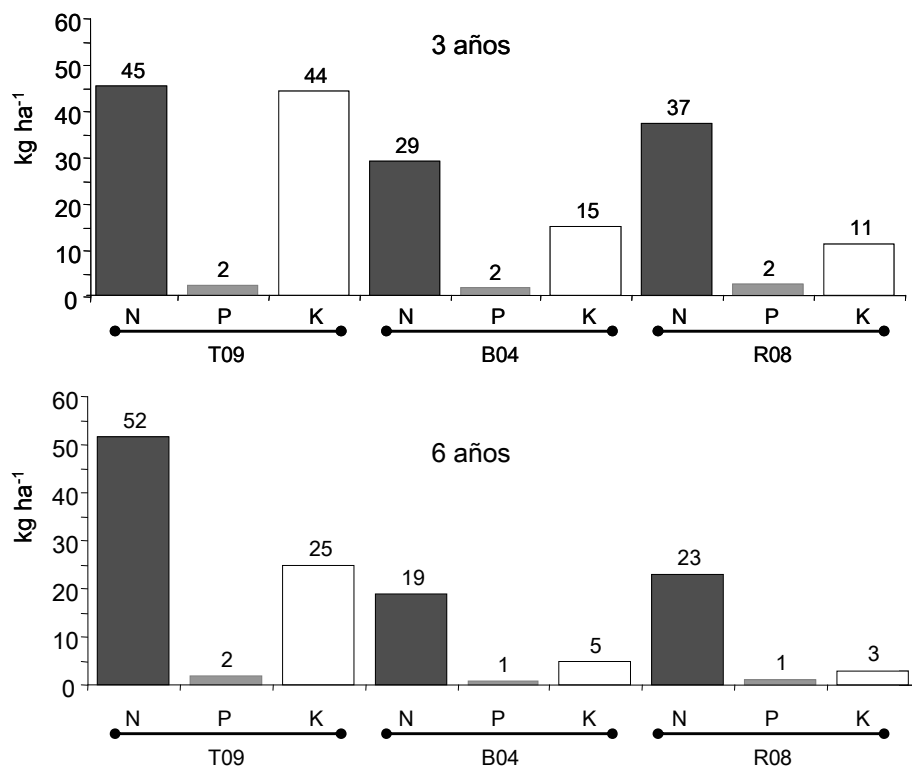


Figura 7. Cantidad de elementos nutritivos N, P y K acumulados en la hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar a los 3 y a los 6 años de edad (período 1999-2002), Pichimaule, Fresia, X Región.

Se registró un retorno al suelo a través de la hojarasca de 20 a $50 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de nitrógeno, 1-3 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de fósforo y 4-40 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de potasio. Las

cantidades de nitrógeno producidas a los 3 años de edad en los rodales testigo y fertilizados presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). Es evidente la mayor cantidad de nitrógeno aportada por los rodales testigo. En el cuadro 12 se observa en el rodal sin fertilizar que a mayor edad la cantidad de nitrógeno y fósforo reciclado se mantuvo, no sucedió lo mismo con el potasio que se vió disminuido prácticamente a la mitad (43%). Si bien podemos inferir que todos los tratamientos a medida que aumentan en edad tienen una disminución de los elementos nutritivos, se ve claramente como el testigo prácticamente se mantiene en cantidad de nitrógeno porque disminuye sólo 9 kg ha^{-1} a los 6 años, por el contrario los rodales fertilizados a esa misma edad tienen menos de la mitad del nitrógeno del testigo.

Cuadro 12. Cantidad anual de elementos nutritivos en la hojarasca (kg ha^{-1}) de rodales fertilizados y sin fertilizar desde los 3 a los 6 años de edad, Pichimaule, Fresia, X Región.

Aplicación	Tratamiento Preplantación n°	Cantidad Anual de Elementos Nutritivos en la Hojarasca (kg ha^{-1})								
		99/00 (3-4 años)	00/01 (4-5 años)	01/02 (5-6 años)	99/00 (3-4 años)	00/01 (4-5 años)	01/02 (5-6 años)	99/00 (3-4 años)	00/01 (4-5 años)	01/02 (5-6 años)
		NITROGENO			FOSFORO			POTASIO		
Testigo	T09	45	42	52	2,2	1,2	1,9	44	15	25
	T12*	51	47	28	3,7	1,8	1,1	39	22	11
	T11	54	47	45	3,1	1,7	1,6	39	23	22
	T10	-	-	40	-	-	1,5	-	-	21
	Promedio	50	46	41	3,0	1,6	1,5	40	20	20
Bifox	B03*	40	29	22	2,3	1,0	0,8	22	11	7
	B04*	29	35	19	1,7	1,0	0,8	15	13	5
	B01*	-	-	16	-	-	0,7	-	-	3
	B02*	-	-	16	-	-	0,7	-	-	4
	Promedio	34	32	18	2,0	1,0	0,7	18	12	5
Roca	R08*	37	35	23	2,4	1,4	1,0	11	5	3
	R07*	33	26	18	2,1	1,1	0,9	8	4	3
	R05*	-	-	17	-	-	0,8	-	-	6
	R06*	-	-	23	-	-	1,1	-	-	5
	Promedio	35	31	20	2,3	1,2	0,9	9	5	4

* Raleado en junio 2001

En tratamientos fertilizados a mayor edad de los rodales las cantidades de nitrógeno y potasio disminuyen prácticamente a la mitad y específicamente a los 6 años de edad de la plantación el reciclado a través de la hojarasca es un 50% menor en relación al rodal testigo, esto último fuertemente influenciado por el raleo de junio 2001. El fósforo en la hojarasca se mantiene en valores promedio similares para ambos periodos de edad.

En la figura 8 se relaciona para todo el período del estudio la producción de hojarasca con el contenido y la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en los rodales fertilizados y sin fertilizar. Existe una estrecha relación entre ambos tipos de tratamientos que se manifiesta en el alto coeficiente de correlación de pearson (r) obtenido para el período 1999-2002. Esto equivale a decir que la mayor cantidad de hojarasca caída determina la mayor cantidad de nitrógeno y potasio devuelto al suelo, a pesar de observarse una disminución en el contenido de nitrógeno con la edad. El fósforo presentó una baja correlación con los montos de hojarasca producida, más bien se mantiene en una condición estable a lo largo del estudio.

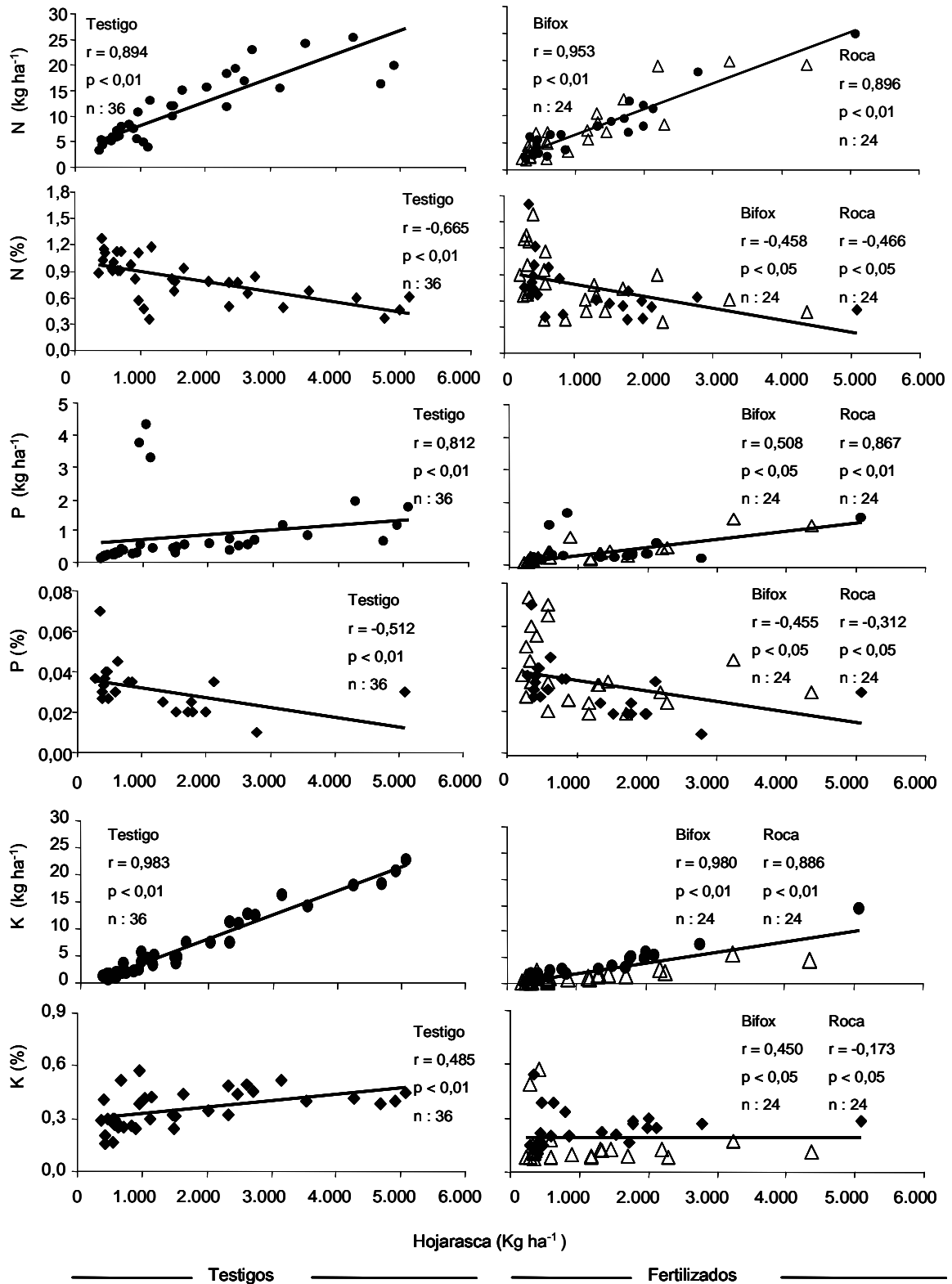


Figura 8. Coeficiente de correlación de Pearson (r) de las cantidades y contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en la hojarasca de rodales testigos y fertilizados desde los 3 a los 6 años de edad (período 1999-2002), Pichimaule, Fresia, X Región.

Tanto en el contenido como en la cantidad de elementos nutritivos hubo variación en todas las estaciones del año y a su vez variación entre los tratamientos fertilizados y sin fertilizar (Figura 9). Los menores contenidos de nitrógeno y fósforo se produjeron en verano y otoño en ambos tratamientos, a su vez en invierno se registran valores superiores a las demás estaciones del año, llegándose a triplicar el contenido de nitrógeno respecto del verano. En invierno entre los 3 y 6 años de edad de la plantación se registran promedios de contenido mayores al 1,0 % en nitrógeno con máximos en el año 2000 de 1,3 % en rodales sin fertilizar y 1,7 % en rodales fertilizados. En los contenidos del año 99-00 se observa claramente el efecto de la fertilización aplicada en 1999, posteriormente se asemejan al testigo. En la cantidad existe un fuerte efecto de la cantidad de hojarasca y en el año 01-02 se observa nítidamente el efecto del raleo en los rodales fertilizados (Figura 9).

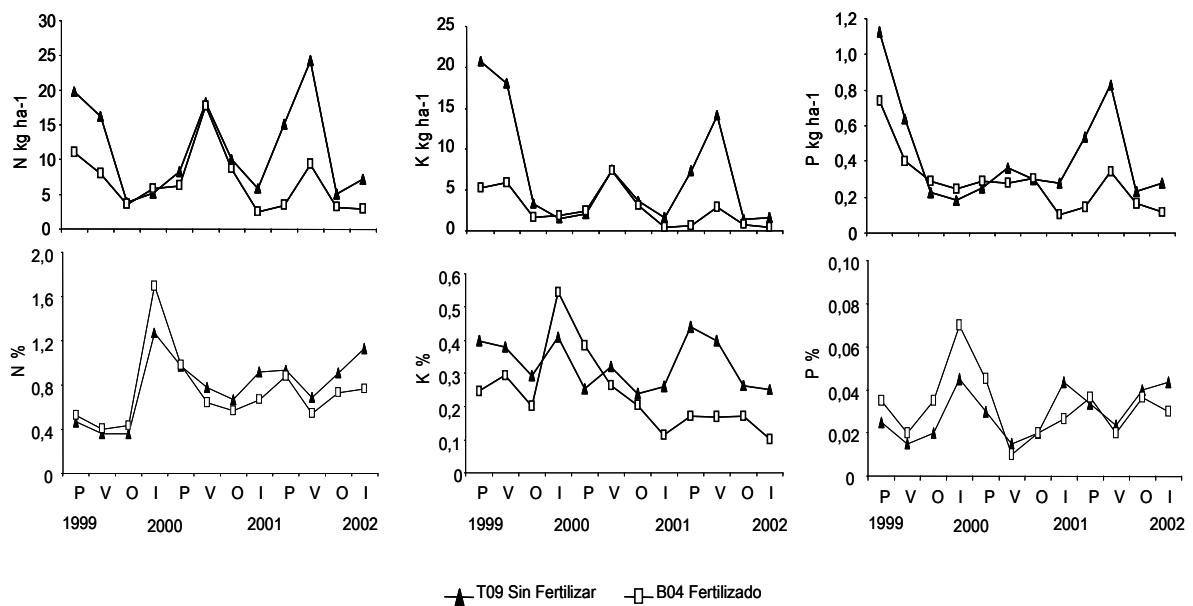


Figura 9. Variación estacional en las cantidades y contenidos de elementos nutritivos en la hojarasca en rodales fertilizados y sin fertilizar desde los 3 a los 6 años de edad, Pichimaule, Fresia, X Región. Raleo B04 en junio 2001.

El fósforo se presentó en cantidades y concentraciones menores que los otros dos elementos en la hojarasca; registró un promedio de 0,04 % en contenido para todo el período. En el caso del potasio si bien se mantiene la tendencia de los demás elementos nutritivos, las diferencias de contenido entre los rodales

fertilizados y sin fertilizar en el período de cierre de copas son más marcadas, duplicando la concentración de potasio en invierno respecto del verano. En los años siguientes, luego de cerradas las copas, el contenido de potasio se hace mayor en los rodales sin fertilizar.

5. DISCUSIÓN

Las cantidades de hojarasca observadas en el presente estudio (figura 6) son coincidentes con estudios similares para la misma edad y otras especies de *Eucalyptus spp* en el período después del cierre de copas. Noble (1992) señala 5,0 t ha⁻¹ año⁻¹ para *Eucalyptus grandis* de cuatro años de edad, Attiwill (1992) reporta al quinto año de crecimiento 4,9 t ha⁻¹ para *Eucalyptus regnans*, mientras que Frederick *et al.* (1986) en *E. nitens* y Frederick *et al.* (1985) en *E. regnans* cuantificaron 5,3 t ha⁻¹ año⁻¹ y 5,2 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. El período antes de que la plantación cierre sus copas entre los 3 y 4 años de edad, la producción de hojarasca es menor, cercana a 1,0 t ha⁻¹ al año (Bonomelli *et al.*,2002). Posterior al cierre de copas la hojarasca disminuye en cantidad, fluctúa entre los 4 y 6 t ha⁻¹ y tiende a homogenizarse entre los rodales fertilizados y sin fertilizar, sin embargo en el presente estudio los rodales fertilizados se vieron afectados por un raleo en el año 2001 que mermó la producción de hojarasca.

El período de cierre de copas, sin embargo presenta un comportamiento particular, ya que corresponde a una etapa de inicio de la competencia intraespecífica, con menor acceso de luz al estrato inferior y una mayor demanda de la plantación por agua y elementos nutritivos. El cierre del dosel genera una caída más temprana de las hojas en primavera (1999) provocando la mayor acumulación de desechos. Esto marca una clara diferencia en la plantación entre el desarrollo anterior, el cambio durante el cierre y los años posteriores, porque es en el cierre de copas donde se produce la máxima caída de hojarasca.

En los años posteriores al cierre del dosel la caída de hojarasca tiende a homogenizarse entre años y responde a factores climáticos estacionales, (figuras 3 y 4), principalmente determinados por la época de estrés hídrico en verano. La caída estacional de hojarasca con valores máximos en verano y mínimos en invierno son coincidentes con estudios similares desarrollados por Noble (1992), Frederick *et al.* (1986) en *E. nitens* y Frederick *et al.* (1985) en *E. regnans*.

Es importante mencionar que en el período 2001-2002 la cantidad de hojarasca producida se vio afectada en los rodales fertilizados por el raleo en invierno 2001,

el que provocó una disminución de la cobertura del dosel en esos tratamientos y, en consecuencia, la cantidad de hojarasca arrojó diferencias de hasta un 50% menos que en la hojarasca caída en el rodal testigo sin fertilizar (figura 5), el cual no se intervino. Sin embargo, se espera que una vez alcanzada la ocupación completa del dosel los rodales raleados disminuyan la brecha respecto de los no raleados y se logre la fluctuación normal de caída anteriormente explicada.

La producción anual de hojarasca presentó diferencias significativas entre los tratamientos con y sin fertilización en el período de cierre de copas, una vez superado este proceso tiende a homogenizarse pero sigue siendo mayor la producción de hojarasca en el rodal testigo, con la salvedad del período 2001-2002 en que hay una leve superioridad del rodal fertilizado B04 (Figura 6a). Al inicio de las mediciones en 1999 los rodales fertilizados adelantaron su cierre de copas por efecto de la fertilización preplantación, sin embargo en el período siguiente 2000-2001, el rodal testigo sigue produciendo más hojarasca en relación a los tratamientos fertilizados, esto se puede explicar en que hay un efecto de la ubicación física del tratamiento testigo, el cual fue instalado en la zona baja de la ladera en donde tiene mayor disponibilidad de agua y también podría llegar a recibir aporte de minerales desde los rodales fertilizados que se ubican en la parte superior de la ladera. Si bien es evidente que existe un efecto de cada tratamiento no es menos cierto que hay una interacción entre los diferentes ensayos y la ubicación de estos en el relieve, hecho que estaría condicionando una variación en el régimen de humedad y en los elementos nutritivos presentes en el tratamiento testigo (T09). Tokuchi *et al.* (1999) señalan para estudios con *C. japonica* en Japón que las tasas de crecimiento de la especie fueron más altas en las partes bajas de la ladera, por sobre los crecimientos de las partes altas.

En relación con los elementos nutritivos reciclados en la hojarasca (cuadro 12) se registraron al cierre de copas promedios de 50 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno en rodales testigos y 34 kg ha⁻¹ año⁻¹ en rodales fertilizados, valor principalmente determinado por la cantidad de hojarasca caída en estos tratamientos. En los años posteriores al cierre del dosel el nitrógeno registra una leve disminución en el rodal testigo presentando valores de 40 a 45 kg ha⁻¹ año⁻¹ y se mantiene entre

30 – 35 kg ha⁻¹ año⁻¹ en los fertilizados. En estos últimos la fuerte disminución de nitrógeno en el año 2002 es producto del raleo de junio 2001.

En cuanto al fósforo reciclado en la hojarasca los valores obtenidos son menores y oscilan entre 1 y 4 kg ha⁻¹ año⁻¹, indicando el menor contenido de este elemento en las hojas y probablemente también debido a su reutilización dentro del árbol. El potasio en rodales testigos retorna al suelo en un promedio de 40 kg ha⁻¹ año⁻¹ al cierre de copas, cifra muy cercana al nitrógeno, pero en los años siguientes retorna prácticamente la mitad. En los rodales fertilizados se registraron valores inferiores en un 50% a los testigos.

El análisis efectuado para nitrógeno indica que existe una relación directa entre la cantidad de biomasa caída y la cantidad de nitrógeno. Aún cuando se observó una relación inversa con el contenido de este elemento, dominó el efecto de la cantidad de biomasa sobre el cambio de contenido. Lo anterior se explica por el hecho de que en los meses estivales la hojarasca tiene menor contenido por movilización desde tejidos senescentes a tejidos nuevos, pero en ellos cae la mayor cantidad. En cambio, en invierno, con los mayores contenidos, es mucho menor la cantidad pero el viento facilita la caída de hojas activas (figura 9). En el período de cierre de copas la hojarasca caída en invierno triplicó los contenidos de nitrógeno (1,3% testigo, 1,7% fertilizado) y duplicó la de fósforo (0,05% y 0,07%) respecto a la hojarasca de verano, lo cual en parte es atribuible a una mayor caída mecánica de hojas, en parte vivas, más por efectos meteorológicos que por efectos fisiológicos. Las hojas caídas en verano, período de mayor estrés hídrico, presentan las concentraciones más bajas, y los contenidos más altos se registran en los períodos sin falta de agua (figura 9). De lo anterior se desprende que la hojarasca aportada en el verano presenta hojas a las que antes le fueron removidos los nutrientes hacia los centros de crecimiento o de reserva. Grove *et al.* (1996) señalan al respecto que la utilización de los nutrientes es muy eficiente en los árboles, a través de procesos de almacenaje y posterior redistribución de nutrientes, especialmente con aquellos móviles, los que desde los tejidos senescentes se movilizan en una gran proporción hacia los centros de crecimiento. Los valores de nitrógeno, fósforo y potasio de estudios relacionados (Frederick *et al.*, 1985b) son coincidentes con la variación estacional de los

elementos nutritivos obtenidos en el presente estudio. En general, la variación en los contenidos de los elementos nutritivos durante las estaciones (figura 9), coincide con la capacidad de movilidad de los elementos y la demanda para la formación de tejidos nuevos en la época de crecimiento.

El efecto de la fertilización sobre los elementos nutritivos se aprecia claramente en los mayores contenidos de nitrógeno y fósforo de los rodales fertilizados en la primavera y verano 1999, período de cierre del dosel. En los períodos siguientes los tratamientos tienden a parecerse. El potasio presentó una diferencia más notoria entre el rodal fertilizado y el sin fertilizar en el período de cierre de copas, en el período siguiente el potasio es mayor en los rodales sin fertilizar.

Los elementos nutritivos reciclados a través de la hojarasca, son una fuente importante de reserva de nutrientes para la plantación. Ella forma el mantillo, favoreciendo el microclima cercano al suelo y los procesos de descomposición a través de los cuales se mineralizan los nutrientes, reincorporándose al suelo. Cabe mencionar también, que los aportes de nutrientes de los desechos del raleo, son una fuente importante de nutrientes en los años siguientes de la plantación. Ellos también pasan a formar parte del mantillo.

6. CONCLUSIONES

En el período de cierre de copas la producción de hojarasca responde a una situación particular de alta competencia intraespecífica por la ocupación del sitio con menor acceso de luz al estrato inferior y una mayor demanda de la plantación por agua y elementos nutritivos, provocando una caída máxima más temprana en primavera.

En los años posteriores al cierre del dosel la hojarasca responde a fluctuaciones climáticas principalmente determinadas por disponibilidad de agua, esto es, la mayor caída de material al suelo se registra en verano, período de mayor estrés hídrico, y las menores en invierno. En este período se alcanza un comportamiento constante de la caída hasta el inicio de la edad fustal.

El raleo en junio 2001 tuvo una alta incidencia en la producción de hojarasca de los rodales fertilizados en el período 2001-2002, sin embargo el modelo de fluctuación estacional no fue alterado.

Los rodales con distinto manejo nutritivo y sin fertilizar presentaron diferentes producciones de hojarasca durante el período de estudio y el modelamiento estacional de caída mantiene la misma tendencia para ambos tratamientos, esto es con máximos en verano y mínimos en invierno.

Las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio en la hojarasca son directamente proporcionales a la biomasa de hojarasca producida. En cambio, los contenidos de estos elementos muestran relaciones inversas con la cantidad de biomasa.

En el verano la hojarasca presenta menores contenidos de elementos nutritivos, en la época de mayor estrés hídrico, momento en que también se produce el mayor aporte de hojarasca al piso de la plantación, en tanto los mayores contenidos se registraron en el invierno con la menor acumulación de desechos y responden más bien a un efecto mecánico producto del viento y la lluvia.

La fertilización produce mayores contenidos de nitrógeno y fósforo en el período de cierre de copas, en las etapas siguientes tienden a parecerse con los contenidos del rodal sin fertilizar.

El potasio mantiene la tendencia anterior sin embargo registró una mayor diferencia entre el rodal fertilizado y el sin fertilizar en el período de cierre de copas, en la etapa siguiente el potasio es mayor en los rodales sin fertilizar.

La variación en los contenidos de los elementos nutritivos durante las estaciones, coincide con la capacidad de movilidad de los elementos y la demanda para la formación de tejidos nuevos en la época de crecimiento.

7. RESUMEN

En una plantación de *Eucalyptus nitens* en un suelo rojo arcilloso de la serie Crucero, ubicado en la comuna de Fresia, X^a Región, se estudió la producción de hojarasca de áreas con diferentes tratamientos de fertilización entre los 3 y 6 años de edad, coincidente con el período de cierre de copas y hasta el inicio de la edad fustal. La hojarasca caída al suelo fluctuó entre las 7 y 11 t ha⁻¹ año⁻¹ en el cierre de copas y en los períodos siguientes disminuyó a 4 y 6 t ha⁻¹ año⁻¹. Retornaron al suelo a través de la hojarasca 20 a 50 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, 1 a 3 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P y 4 a 40 kg ha⁻¹ año⁻¹ de K. La máxima producción de hojarasca se presentó en el período de cierre de copas, luego de cerrado el dosel la caída disminuye haciéndose constante entre los tratamientos. La mayor proporción de la caída se registró en verano y la menor en invierno. Los rodales fertilizados vieron afectada su producción de hojarasca debido a un raleo efectuado a la plantación en junio del 2001. Los resultados muestran una marcada estacionalidad en la caída de hojarasca y una estrecha relación entre la cantidad de material de desecho y los contenidos y cantidades de elementos nutritivos. La producción de hojarasca tiene una función predominante en la mantención de la productividad de un ecosistema forestal.

Palabras claves: *Eucalyptus nitens*, hojarasca, mantillo, biomasa, flujo de nutrientes.

8. SUMMARY

In a plantation of *Eucalyptus nitens* on red clayey soils of the Crucero series, located close to Fresia X^a Region, litter production were studied in fertilization treatments in a period between 3 and 6 years of age, around canopy closure. The litterfall ranged between 7 and 11 t ha⁻¹ yr⁻¹ at canopy closure and decreased in the following periods to 4 and 6 t ha⁻¹ yr⁻¹. 20 to 50 kg ha⁻¹ yr⁻¹ N, 1 to 3 kg ha⁻¹ yr⁻¹ P and 4 to 40 kg ha⁻¹ yr⁻¹ K returned to the soil through the litterfall. The maximum litter production was in the period of canopy closure, after the canopy closes in the fall to be declining among the treatments. The largest proportion of the litterfall was recorded in summer and lowest in winter. Fertilized stands was affected in litter production due to a thinning, done in June 2001. The results show a marked seasonal decline in litter and a close relationship between the amount of litter and its nutrient content and quantity. This results shows that litterfall has a predominant role in maintaining the productivity of a forest ecosystem.

Keywords: *Eucalyptus nitens*, litterfall, litterlayer, biomass, nutrients fluxes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J. 2001. "Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso". Tesis Magíster en Ciencias, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 170 p.
- Barros, N., R.F. Novais. 1996. "Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. En: Attiwill, P. y M. Adams editores. Nutrition of Eucalypts. CSIRO Publishing. Australia. 440p.
- Besoain, E. 1985. Los Suelos. In: Tosso, J. (ed). Suelos volcánicos de Chile. Santiago, INIA. pp. 25-106
- Bonomelli, C., D. Suarez. 1999a. "Fertilización del Eucalipto. 1. Efecto sobre la acumulación de biomasa", Ciencia e Inv. Agr. 26:1-10.
- Bonomelli, C., D. Suarez. 1999b. "Fertilización del Eucalipto. 2. "Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio", Ciencia e Inv. Agr. 26: 11-19.
- Bonomelli, C., I. Peña, D. Suárez. 2002. "Contribución de las hojas en el proceso de reciclaje de N y P en *Eucalyptus* sp.", Bosque 23(1): 61-77.
- CIREN (Centro de Investigación de Recursos Naturales, Chile). 2001. Estudio agrológico X Región; Descripciones de suelos materiales y símbolos. Tomo I. 199 p.
- Cromer, R., D. Cameron, S. Rance, P. Ryan y M. Brown. 1993. "Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. II. Nitrogen accumulation". Forest Ecology and Management 62:231-243.
- Delitti, W.B.C. 1998. Ciclagem de nutrientes em cerrados. VIII Seminario Regional de Ecología, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p.1031-1045.
- De Freitas, V., R. Novais, N. Barros, M. Ferreira, L. Dacosta. 1995. "Balance nutricional , eficiencia de utilización y evaluación de la fertilidad del suelo

en P, K, Ca y Mg, en parcelas con *Eucalyptus saligna*, en Río Grande do Sul, Brasil. En Simposio IUFRO. Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia, abril 1995, pp. 181-194.

Donoso, C. 1992. "Ecología Forestal; el bosque y su medio ambiente. 3ª Ed. Santiago (Chile), Universitaria. 369p.

Donoso, C. 1994. "Bosques templados de Chile y Argentina; variación, Estructura y dinámica. Santiago (Chile), Universitaria. 484p.

Fajardo, M. 1975. "Contribución al estudio de los suelos rojo arcillosos del Valle Central". Santiago (Chile), CORFO. 91p.

Frederick, D.J.; Madgwick, H.A.I.; Jurgensen, M.F. y Oliver, G.R. 1985. Dry matter content and nutrient distribution in an age series of eucalyptus regnans plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 15(2): 158-179.

Frederick, D.J.; Madgwick, H.A.I.; Jurgensen, M.F. y Oliver, G.R. 1986. Seasonal development of a young plantation of *Eucalyptus nitens*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 16(1): 78-86.

Gerding, V. 1997. Manejo físico de suelos para sustentabilidad del recurso. In: Apuntes Curso corto de posgrado "Síntesis de los principales tipos de suelos", Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile: 34-37.

Gerding, V. 2001. Manejo nutritivo de *Eucalyptus nitens* hasta la etapa de culminación cuantitativa del incremento corriente anual, en suelo rojo arcilloso de la X Región". Proyecto Fondecyt 1010174.

Grez, R. 1996. Elementos nutritivos. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. 31p.

Grove, T.S.; Thomson, B.D. y Malajczuck, N. 1996. The Nutritional Physiology of *Eucalyptus*: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL, P.M. y ADAMS, M.A (editores). *Nutrition of Eucalyptus*. CSIRO. Australia. pp: 327-332.

- Huber, A.; Oyarzún, C. 2002. "Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológicos en un bosque de *Pinus radiata* (D.Don.). Bosque (5)1: 1–11
- Instituto Forestal (Chile) - Corporación de Fomento. 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera Monografía. Valdivia, INFOR - CORFO. 143 p. (Informe Técnico, 165).
- Instituto de Investigación de Recursos Naturales (Chile) - Corporación de Fomento (Chile)–Universidad Austral de Chile (Chile). 1978. Estudio de Suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, IREN. 178 p.
- Judd, T.S.; Attiwill, P.M. y Adams, M.A. 1996a. Nutrient Concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: ATTIWILL, P.M. y ADAMS, M.A (editores). Nutrition of *Eucalyptus*. CSIRO. Australia. pp: 123-154.
- Judd, T.S.; Bennett, L.T.; Weston, C.J.; Attiwill, P.M. y Whiteman, P.H. 1996b. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 82: 87-101.
- Leiva, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal como tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales. 80p.
- Moroni MT, PJ Smethurst. 2003. Litterfall, nitrogen and phosphorous fluxes in two Tasmanian *Eucalyptus nitens* plantations. *Tasforests* 14: 53-63.
- Negi, J.D.S. y Sharma, S.C. 1996. Mineral Nutrition and Resource Conservation in India. In: ATTIWILL, P.M. y ADAMS, M.A (editores). Nutrition of *Eucalyptus*. CSIRO. Australia. pp: 399-416.
- O'Connel, A y Grove, T. 1996. Biomass production, nutrient uptake and cycling in the Jarrah (*Eucalyptus marginata*) and Karri (*Eucalyptus diversicolor*) forests

of south-western Australia. In: ATTIWILL, P.M. and ADAMS, M.A (editores). Nutrition of Eucalyptus. CSIRO. Australia. pp: 399-416.

Prado, J., S. Barros. 1989. Eucalyptus; principios de silvicultura y manejo. Santiago (Chile), INFOR-CORFO. 199p.

Rai SN, J. Proctor. 1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India. II. Litterfall. J. Ecol. 74: 455-463.

Ramírez JA, C. Zapata, J. León, M. Gonzalez. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Interciencia 32 (5): 303-311.

Santa Regina, I.; T. Tarazona. 2001. Nutrient cycling in a natural beech forest adjacent planted pine in northern Spain. Forestry 74: 11-28.

Schlatter, J.E.; V. Gerding, A. Huber. 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal. Aplicado a la X Región. Serie Técnica Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 93p.

Schlatter, J. 1996. Dinámica del crecimiento de la biomasa. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. 10p.

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

Sokal, R. ; J. Rohlf. 1979. Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Trad. por Miguel Lahoz Leon. Nueva York, Universidad del Estado de Nueva York. 830 p.

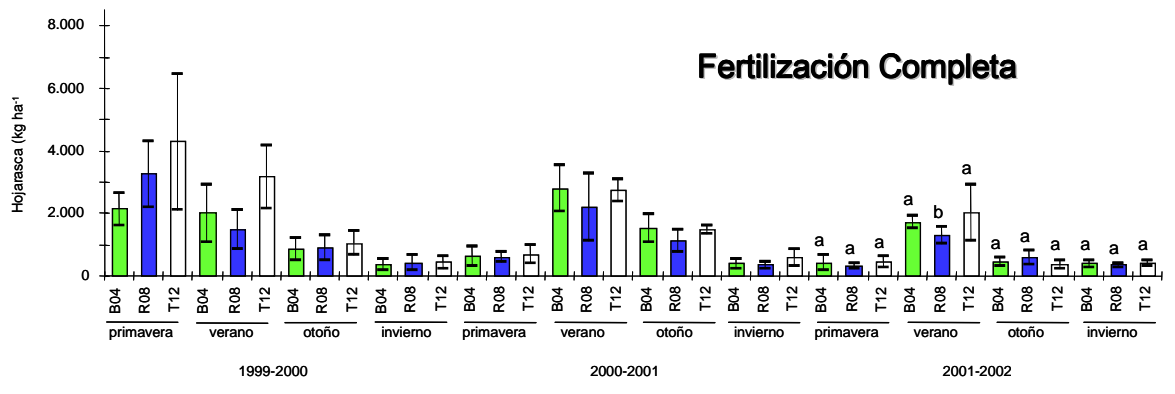
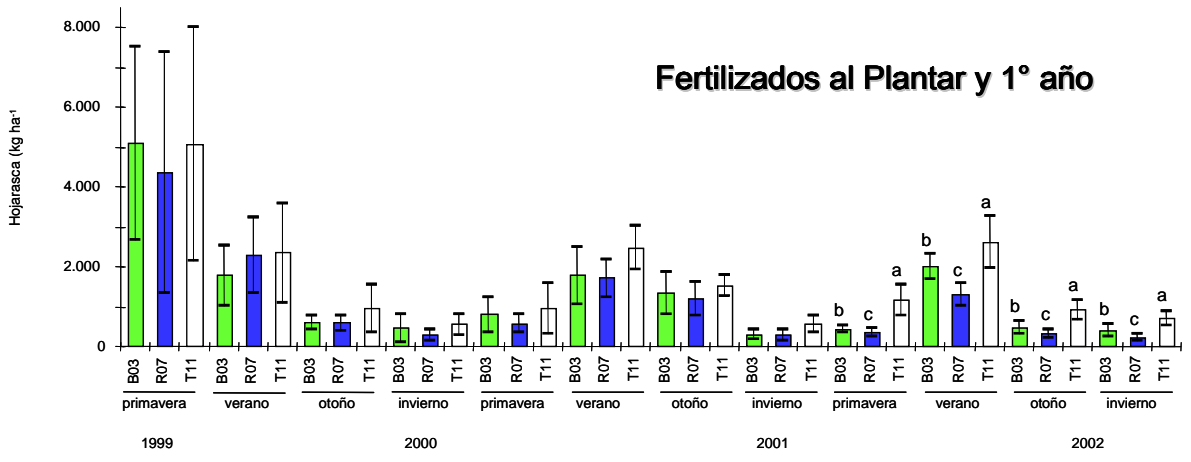
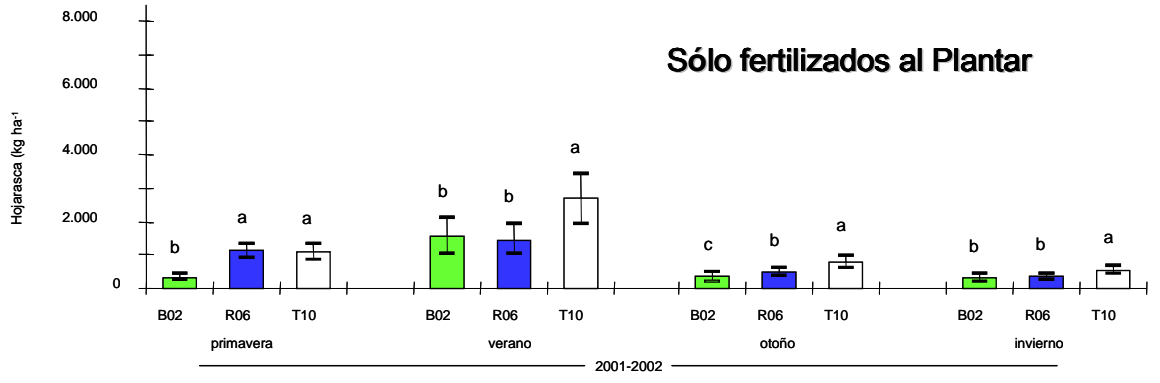
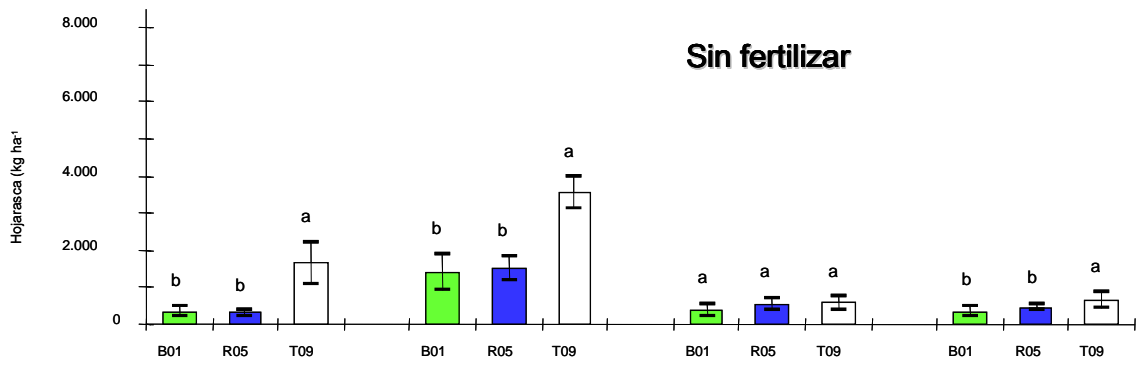
Staub, J.P. 2000. Evaluación de una fertilización basada en fósforo al inicio de una plantación de Eucalyptus nitens (Dean et Maiden)Maiden en un suelo rojo arcilloso de la X Región. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales. 90p.

- Tokuchi, N; Takeda, H; Yoshida, K; y Iwatsubo, G. 1999. Topographical variations in a plant-soil system along a slope on Mt Ryouh, Japan. *Ecological Research* 14: 361-369.
- Toro, J. 1995. "Avances en fertilización en *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp. en Chile". En Simposio IUFRO. Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia. Abril 1995. pp: 293-299.
- Vitousek, P.; R. Sanford (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 17: 137-167.

ANEXOS

Anexo 1

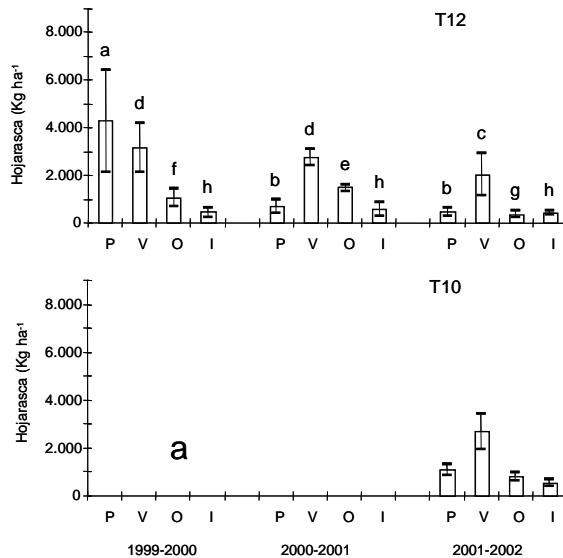
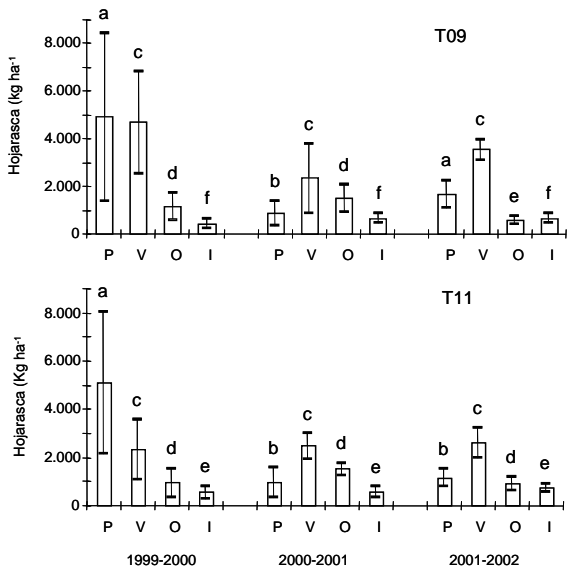
**Caída de hojarasca bajo diferentes esquemas de fertilización entre
los 3 y 6 años de edad**



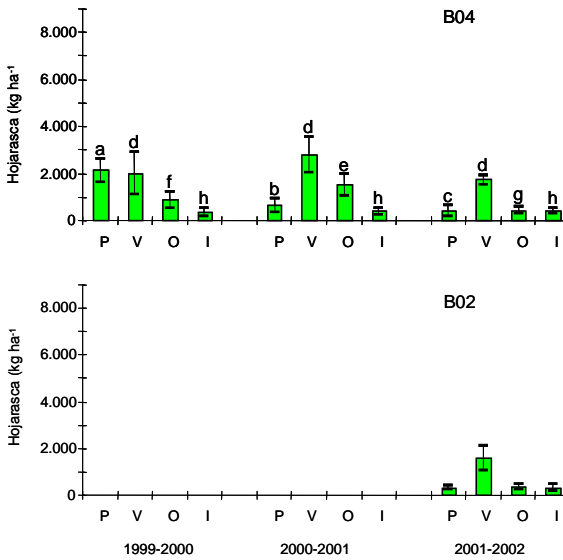
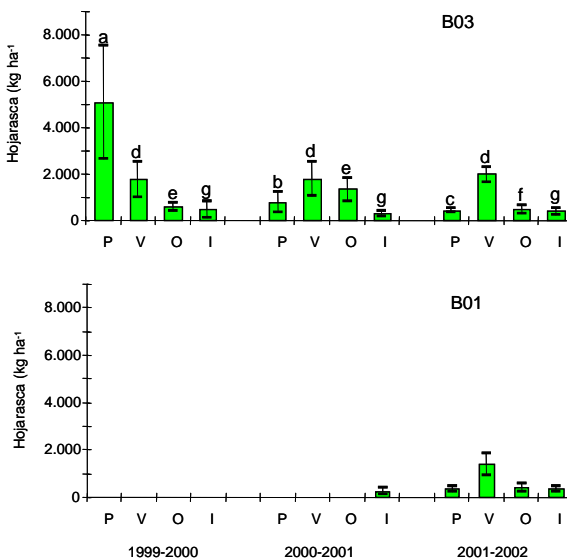
Anexo 2

**Caída de hojarasca para ensayos con distinta fertilización
preplantación entre los 3 y 6 años de edad**

TESTIGOS



BIFOX



ROCA FOSFÓRICA

