



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Balance nutritivo en un bosque nativo mixto heteroetáneo con enriquecimiento

Patrocinante: Sr. Juan Schlatter V.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para
optar al Título de **Ingeniero
Forestal**.

JAN MICHAEL KÖSTER GAMPER

VALDIVIA

2003

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Dr. Juan Schlatter Vollmann	6,3
Informante:	Dr. Victor Gerding Salas	6,0
Informante:	Sr. Pablo Donoso Hiriart	6,0

El Patrocinante 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 Schlatter V.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Caracterización del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, subtipo Remanentes Originales (Donoso, 1981)	2
2.2 Clima	2
2.3 Características del suelo	3
2.4 Historia de uso del bosque y del suelo	3
2.5 Balance nutritivo	4
2.6 Estudios relacionados	6
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Área de estudio	8
3.2 Características del suelo	8
3.3 Características del bosque	9
3.4 Biomasa del sistema	10
3.5 Metodología	11
3.5.1 Base de datos del bosque	11
3.5.2 Base de datos del suelo	14
3.5.3 Hojarasca	15
3.5.4 Cálculo cuantitativo	16
4. RESULTADOS	19
4.1 Análisis comparativo de los contenidos de macronutrientes de Coigüe y Laurel	19
4.1.1 Comparación del contenido según componente del árbol	19
4.1.2 Distribución de macroelementos en la copa	20
4.1.3 Distribución de macroelementos en el tronco	22
4.1.4 <i>Proporción de cantidad de macroelemento por componente</i>	23
4.2 Cantidad total de macronutrientes acumulados en los árboles por hectárea	24
4.3 Mantillo	25
4.3.1 Características del mantillo	25
4.3.2 Contenido de elementos nutritivos en el mantillo	25
4.3.3 Cantidad de elementos nutritivos en el mantillo	25

4.4	Suelo	26
4.4.1	Características químicas del suelo	26
4.4.2	Características químicas del suelo superficial (0-5 cm)	27
4.4.3	Oferta nutritiva del suelo (cantidad)	27
4.5	Aporte nutritivo de la hojarasca	28
4.6	Balance nutritivo	28
4.7	Análisis comparativo entre estrato nativo y plantación de Eucalipto	31
4.8	Discusión sobre el estudio	33
5.	CONCLUSIONES	36
6.	BIBLIOGRAFÍA	37
	ANEXOS	39
1	Abstract	
2	Ubicación de la parcela en el <i>Arboretum</i>	
3	Censo de la parcela (1 ha)	
4	Contenidos de elementos nutritivos en árboles promedio de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>	
5	Cantidad de elementos nutritivos según sección del Ecosistema	
6	Propiedades físicas del suelo	
7	Resultados estadísticos de comparación entre valores de contenido de elementos nutritivos en las tres clases diamétricas	
8	Proporciones de cantidad de biomasa y nitrógeno en copa y fuste	

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Perfil de suelo en el lugar de estudio (según Düsterhöft, 2003)	9
Cuadro 2. Cronograma de actividades de restauración realizadas en el bosque estudiado	9
Cuadro 3. Lista de árboles analizados para medición y cálculo de biomasa	12
Cuadro 4. Procesos utilizados para análisis nutritivo de las partes vegetales, hojarasca y mantillo	14
Cuadro 5. Procesos utilizados para el análisis químico del suelo mineral	15
Cuadro 6. Caracterización del estrato arbóreo naivo y de la plantación de eucalipto (datos eucalipto según Aparicio (2001))	18
Cuadro 7. Cantidad de macronutrientes acumulados a) en un 43% del área de estudio y b) expandidos a la hectárea	25
Cuadro 8. Contenidos de elementos nutritivos por muestra-mezcla del mantillo	25
Cuadro 9. Cantidad de elementos en el mantillo	26
Cuadro 10. Análisis químico del suelo: pH, relación C/N y contenido de minerales	26
Cuadro 11. Análisis químico del suelo: contenido de nutrientes, suma de bases y saturación de aluminio	27
Cuadro 12. Valores de pH, contenido de elementos nutritivos y coeficiente de variación del suelo superficial (0-5 cm)	27
Cuadro 13. Valores de contenido de elementos nutritivos y saturación de aluminio del suelo superficial (0-5 cm)	27
Cuadro 14. Cantidad disponible y de reserva suministrable de elementos en el suelo; calicata 1	28
Cuadro 15. Cantidad de macroelementos aportados por caída anual de hojarasca	28
Cuadro 16. Absorción anual media neta por tipo de bosque	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plano de la ciudad de Valdivia y ubicación del <i>Arboretum</i>	8
Figura 2. Distribución diamétrica del bosque en estudio (según Düsterhöft, 2003)	10
Figura 3. Distribución de biomasa del sistema (según Düsterhöft, 2003)	10
Figura 4. Distribución del aporte mensual de hojarasca entre marzo de 2001 y febrero de 2003	11
Figura 5. Disgregación de copa, tronco y árbol completo en componentes	12
Figura 6. Distribución de muestras de mantillo y ubicación de las calicatas en el lugar de estudio	14
Figura 7. Contenido de nitrógeno y fósforo por componentes y especie	19
Figura 8. Contenido de potasio y calcio por componente y especie	20
Figura 9. Contenido de elementos nutritivos en hojas de coigüe y laurel según tercio de copa	21
Figura 10. Contenido de elementos nutritivos en ramillas de laurel y caoigüe según tercio de copa	21
Figura 11. Contenido de macronutrientes en ramas vivas de coigüe y laurel según tercio de copa	22
Figura 12. Contenido de macronutrientes en ramas muertas de coigüe y laurel según tercio de copa	22
Figura 13. Contenido de elementos nutritivos en la corteza de coigüe y laurel, según sección del tronco	23
Figura 14. Proporción de cantidad de elementos nutritivos por componente en coigüe y laurel	24
Figura 15. Balance de nitrógeno total y fósforo (disponible y reserva suministrable) en el sistema, de los árboles en regeneración (5-20 cm de DAP) y el suelo hasta 1 m de profundidad	29
Figura 16. Balance de potasio y calcio en el sistema, de los árboles en regeneración (5-20 cm de DAP) y el suelo hasta 1 m de profundidad	29
Figura 17. Ciclo del nitrógeno en el bosque nativo analizado (valores de flujos anuales)	30
Figura 18. Promedios de contenido de nitrógeno y fósforo por componente en coigüe, laurel y eucalipto (Aparicio, 2001)	31
Figura 19. Promedios de contenido de potasio y calcio por componente en coigüe, laurel y eucalipto (Aparicio, 2001)	32

Resumen Ejecutivo

El presente estudio es una aproximación cuantitativa a la dinámica nutritiva de un bosque del tipo siempreverde, en el ejemplo de un bosque adulto degradado situado en el *Arboretum* de la Universidad Austral de Chile, en el sector norte de la Isla Teja en Valdivia, X Región. En este bosque destaca un estrato compuesto por individuos jóvenes de 8 especies principales establecidas por regeneración natural y por plantación para su enriquecimiento. Los objetivos específicos del estudio fueron comparar los contenidos de los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en distintos componentes de *Laurelia sempervirens* (laurel) y *Nothofagus dombeyi* (coigüe), estimar la cantidad total de estos elementos por hectárea en dicho estrato de regeneración de DAP entre 5 y 20 cm, deducir el balance nutritivo del estrato en cuestión, pero en el contexto del bosque completo, y relacionar este balance con el de una plantación de *Eucalyptus nitens* (eucalipto) de cuatro años de edad y de dimensiones arbóreas similares.

En este bosque, Düsterhöft (2003) realizó estudios de biomasa, estableciendo una parcela de 100 x 100 m (1 ha) de la que extrajo muestras de diversos tejidos de árboles, del suelo, del mantillo y de la hojarasca. Estas muestras fueron analizadas químicamente en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Los resultados del análisis y el estudio del mencionado autor, forman la base de este trabajo. Los árboles muestreados fueron analizados en sus distintos componentes y secciones. Los contenidos de los elementos nutritivos en cada componente del árbol fueron ponderados por su peso seco, obteniendo así la cantidad de cada elemento por componente, por árbol y por el total de árboles en el estrato de regeneración considerado. Igualmente, se determinó la cantidad de nutrientes para los distintos horizontes del suelo, el mantillo y para el aporte anual de hojarasca. Los contenidos en elementos nutritivos de las especies laurel y coigüe fueron comparados y las cantidades de elementos nutritivos en todo el estrato de regeneración (8 especies), fueron analizadas en un balance nutritivo. El área actualmente cubierta por el estrato se expandió a la hectárea, para poder compararlo con una plantación de eucalipto de similar condición de desarrollo.

El bosque en estudio presenta las características de un bosque degradado por la intervención humana y el ingreso de animales domésticos (pastoreo). En 1972, el lugar fue cercado, lo que favoreció la regeneración natural del bosque. En períodos posteriores (1975-1979), fue enriquecido con laurel, tepa y avellano. Además se realizaron intervenciones silviculturales para facilitar el desarrollo de las plantas. El bosque presenta una distribución de clases diamétricas del tipo J invertida, con DAP máximos de hasta 140 cm. La biomasa presenta 421 t/ha sobre el suelo en la parte aérea y 467 t/ha en el suelo (hasta 1 m de profundidad).

Los resultados obtenidos indican que, en general, laurel es más exigente desde el punto de vista nutritivo que coigüe. Además, todos los elementos nutritivos analizados presentaron mayores concentraciones en las hojas, existiendo una gradación de acuerdo a la actividad y edad del tejido, siendo los tejidos ñosos los con menores niveles. Los elementos nitrógeno, fósforo y potasio, demostraron una gradación en sus niveles de contenido dentro de la copa, presentando valores más altos en el tercio

superior y disminuyendo hacia el inferior. Calcio también presentó un comportamiento gradual, pero en sentido contrario a los demás elementos.

El balance nutritivo indica que los elementos nitrógeno y fósforo, se encuentran en alrededor de un 98% en el suelo hasta 1 m de profundidad, en tanto que potasio y calcio lo hacen en un 85%. En las condiciones actuales, los árboles del estrato en estudio se encuentran fuera de estrés nutritivo. Además, por la protección brindada por los estratos mayores, los individuos analizados pueden regular mejor su desarrollo. El suelo presenta una recuperación de su fertilidad, lo que se demuestra por su alto contenido en materia orgánica y, sobretudo, por la acumulación de ésta y otros elementos nutritivos en la parte superior del horizonte A. La alta saturación de aluminio a mayor profundidad evita que la actividad biológica realice bien su función mezcladora, lo que provoca dicha acumulación.

Las cantidades de nutrientes en el suelo, para un caso hipotético de cobertura de un 100% de la parcela (1 ha), son de 190 kg/ha de nitrógeno, 12 kg/ha de fósforo, 108 kg/ha de potasio y 100 kg/ha de calcio. Comparando los valores de absorción anual por hectárea del estrato nativo, para un promedio de edad de 25 años, y de la plantación de eucalipto (4 años), se observó que la cantidad acumulada de nitrógeno, fósforo y potasio en la plantación supera en más de 10 veces a la del estrato nativo y la de calcio en más de 20 veces. Es por esto que la plantación debe ser fertilizada, para que no presente pérdidas de rendimiento por estrés, mientras que el estrato de bosque nativo puede ser manejado mediante intervenciones silviculturales, dosificando los recursos mientras se cosechan los individuos maduros.

Palabras clave: Bosque nativo, balance nutritivo, *Eucalyptus nitens*, biomasa.

1. INTRODUCCIÓN

El estado nutritivo de la planta, producto de la relación entre la demanda de elementos nutritivos del árbol y la oferta de estos desde el suelo, es un factor que influye de manera importante sobre su crecimiento y su estudio es fundamental para la silvicultura. En Chile, son prácticamente inexistentes los estudios sobre la materia aplicados al bosque nativo, dejándolo en desventaja frente a plantaciones de especies exóticas de rápido crecimiento, en las que se centran todos los esfuerzos al respecto.

La falta de datos de la dinámica nutritiva del bosque nativo chileno, ha dificultado el dominio de este aspecto por la silvicultura. Sin embargo, para la optimización de la productividad de nuestros bosques es necesario obtener información básica sobre esta materia que permita plantear mejores decisiones silviculturales, bajo las premisas de un uso sustentable.

Este estudio comprende el análisis de un bosque nativo adulto degradado en la provincia de Valdivia, ubicado en la Isla Teja, en el *Arboretum* de la Universidad Austral de Chile. El bosque en cuestión fue protegido desde el año 1972 de todo tránsito animal, favoreciéndose así la regeneración de roble¹, coigüe y otras especies. Posteriormente, algunos claros del bosque fueron enriquecidos con plantas de laurel y en menor monto tepa, para complementar la regeneración natural de roble, coigüe y olivillo.

El objetivo general del trabajo de titulación es lograr una aproximación cuantitativa a la dinámica nutritiva de plantaciones de enriquecimiento y de la regeneración natural, establecidas en un bosque degradado del tipo Roble-Raulí-Coigüe.

Los objetivos específicos son:

- Comparar los contenidos de macronutrientes en los distintos componentes del suelo en árboles promedio de las especies laurel y coigüe.
- Calcular la cantidad total de macronutrientes por hectárea en el estrato de regeneración (DAP entre 5 y 20 cm), compuesto por ocho especies nativas.
- Deducir el balance nutritivo del estrato de regeneración (5-20 cm de DAP).
- Relacionar el balance nutritivo del estrato de regeneración analizado en este estudio con el de una plantación de *Eucalyptus nitens* de dimensiones arbóreas similares.

El trabajo tiene carácter de estudio base y pretende entregar información que permita lograr una orientación cuantitativa sobre la dinámica nutritiva del bosque nativo chileno.

¹ Nombres científicos de las especies en anexo 3

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Caracterización del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, subtipo Remanentes Originales (Donoso, 1981)

El tipo forestal denominado Roble-Raulí-Coigüe es difícil de definir y delimitar porque su origen es muy diverso y se traslapa en forma muy gradual con otros tipos forestales a través de zonas extensas y constituyendo continuos vegetacionales en sentidos latitudinales y altitudinales.

En forma general se puede decir que latitudinalmente el tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe se inicia al sur del río Ñuble por la Cordillera de los Andes (36° 30' sur) y en la misma latitud por la Cordillera de la Costa, al sur del río Itata. Termina aproximadamente en los 41° sur. Por el Llano Central, el límite norte se ubica por la altura del río Malleco y en el sur también en latitud del paralelo 41° sur.

En el sector norte por la Cordillera de los Andes, al sur del río Ñuble, los bosques tienden a ser casi puros de roble a menores altitudes, a partir de los 400 m s.n.m., donde se asocia naturalmente con especies esclerófilas y se encuentra hasta los 1.500 m s.n.m. A altitudes medias, se presenta como bosques mixtos de roble y raulí con presencia de laurel, lingue y algunas esclerófilas. También se encuentran sectores con ciprés de la cordillera y lleuque. Coigüe no está presente en todas las altitudes, pero domina progresivamente con el aumento de altitud, hasta que por los 1.500 m s.n.m. o más arriba se asocia con lenga.

Al sur del río Itata, por la Cordillera de la Costa, el tipo de bosque que se encontraba en el pasado, y que suele encontrarse excepcionalmente en sectores de la Cordillera de Nahuelbuta, era también un bosque trasicional con roble, coigüe, laurel, olivillo, ulmo avellano y especies esclerófilas. Hoy en día, esa zona está casi totalmente cubierta con plantaciones de pino radiata.

En el pasado el Llano Central desde el río Malleco hasta el paralelo 41° sur aproximadamente, se desarrollaba un bosque caracterizado principalmente por la presencia de roble, laurel, lingue, olivillo, ulmo, entre otras, dependiendo de la latitud y condiciones edáficas. Casi todos estos bosques fueron talados alguna vez para despejar terrenos para la agricultura y ganadería. Sólo algunos bosques de la formación original de roble-laurel-linge permanecieron relativamente inalterados. Este tipo de bosques, muy escasos pero ecológica y científicamente muy importantes, se identifican bajo el subtipo Remanentes Originales.

En todos ellos es posible encontrar bosques que han sufrido diferentes niveles de extracción o alteración. Por lo general la alteración continúa por nuevas extracciones y por presencia constante de ganado. Sin embargo, ellos pueden llegar a constituir bosques valiosos si se permite que la regeneración se desarrolle normalmente.

2.2 Clima

El clima de Valdivia se clasifica como templado lluvioso con influencia oceánica. En el período entre los años 1901 y 1960, el nivel promedio anual de precipitación fué de 2.535 mm (Fuenzalida, 1966). En los últimos 41 años, se registró una caída de 2.292 mm anuales en la estación Teja, Universidad Austral de Chile. La distribución de la caída de las precipitaciones llega a su máximo en los meses de invierno entre mayo y agosto con valores mensuales de 300 a 400 mm. Estas abundantes precipitaciones provocan la pérdida de elementos nutritivos por lixiviación y erosión en suelos desnudos o de escasa cubierta boscosa.

La temperatura promedio anual entre los años 1911 y 1950 fué de 11,9°C y para los años entre 1981 a 2000 fue de 12,3°C. Para este último periodo, el mínimo promedio llega a 7,9°C en julio y el máximo promedio en enero con 16,9°C, habiendo un diferencia entre ambos valores de sólo 9°C². Por la cercanía al mar (aproximadamente 15 km) y la influencia de los ríos que circundan la ciudad, las heladas son muy escasas (Hueck, 1978) y la atmósfera presenta normalmente alto contenido de humedad.

2.3 Características del suelo

Los suelos trumaos, en general, tienden a ser francos, friables y con estratificaciones de depósitos fácilmente distinguibles, con diferencias de color nítidas entre sí. Ocasionalmente se presentan capas pumicíticas y/o cementadas en el subsuelo. Es un suelo muy poroso, con densidades aparentes bajas que varían desde 0,6 a 0,9 g/cm³, que se incrementan a mayor profundidad. La actividad biológica es óptima, alcanzando las raíces algunos metros de profundidad. Al estar seco, el suelo es esponjoso y en contacto con humedad, obtiene una consistencia grasosa o jabonosa (Besoain, 1985).

La serie de suelos Valdivia es un trumao compuesto principalmente por cenizas volcánicas modernas. Presenta suelos muy livianos, ácidos y fijadores de fósforo, por su gran contenido de alofanos con aluminio activo (Besoain, 1985). Su alta porosidad en un medio de abundantes lluvias favorece la acción lixivante de las precipitaciones. Es un suelo moderadamente profundo a muy profundo, presente en terrazas remanentes en la Depresión de San José a alturas de 9 a 20 m s.n.m. La textura en los horizontes superficiales es franco limosa y el color pardo oscuro; más en profundidad cambia a arena franca, manteniendo el mismo color. El suelo de ceniza volcánica fue sedimentado sobre un depósito de materiales volcánicos arenosos de fuerte compactación y mezclado con clastos alterados (CIREN, 1999). A este sustrato también se le da el nombre de cancagua.

² Oyarzún, C. 2003. Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile. Comunicación personal.

2.4 Historia de uso del bosque y del suelo

El suelo es, junto al clima, un importante generador del bosque (von Bauer, 1960). Si este ha sido intervenido constantemente de forma extractiva, se presentarán deficiencias nutritivas que repercutirán en su productividad. La ciudad de Valdivia y sus alrededores tienen una prolongada historia en cuanto al uso de sus suelos. Desde antes de la llegada de los españoles, los habitantes nativos de la zona habilitaban terrenos para fines habitacionales y agropecuarios. Además, se surtían de productos entregados por los bosques como frutos, raíces, y madera. Pero no fue hasta el siglo XVII con el establecimiento de los inmigrantes europeos, acentuada el siglo XIX, que el bosque fue desplazado y degradado, al interferir el proceso de regeneración y debilitar, de esta manera, la capacidad de recuperación del ecosistema. Guarda (2001) relata sobre la existencia de bosques al inicio de la conquista, su explotación, degradación y eventual recuperación y la utilización de su madera para la construcción de casas y navíos. Hace mención a la fábrica de ladrillos instalada en la Isla Teja durante el siglo XVII, donde existían hornos que utilizaban la leña obtenida del bosque.

El sector norte de la Isla Teja, ha sido utilizado desde la conquista para fines agrícolas y ganaderos, hasta que en 1971 fue creado por la Universidad Austral de Chile el *Arboretum* con una superficie inicial aproximada de 32 ha, de las cuales cerca de 4 ha fueron designadas para la mantención de bosque nativo. El resto del área fue cubierta con especies arbóreas exóticas, que hoy en día, sumadas a las chilenas, llegan a ser sobre 350 especies distintas (Huber, 1995). Desde 1972 se dio fin a los procesos extractivos, dando la oportunidad al ecosistema de mejorar los suelos degradados mediante la formación de humus, a través de la actividad biológica y el mejoramiento de sus propiedades físicas y químicas producto de una cobertura boscosa permanente.

Antes de la creación del Arboretum, hubo en el lugar actividades agrícolas extractivas con un uso periódico del fuego para limpiar y habilitar los terrenos, a cuyas acciones se suman las altas precipitaciones que se presentan en el clima de Valdivia.

2.5 Balance nutritivo

El balance nutritivo de los vegetales, al igual que en cualquier ser vivo, consiste en un equilibrio existente entre la oferta de nutrientes disponible en el medio, que puede ser utilizada por las plantas, y la demanda de estos, que exigirán las plantas para poder desarrollarse y sobrevivir según los requerimientos propios de cada especie. El proceso de demanda nutritiva es el resultado de la producción de biomasa que genera el árbol. Este proceso de generación de biomasa cambia con la edad del bosque, de acuerdo a la vigorosidad del crecimiento y en la proporción que ocupa cada tejido vegetal. En la primera etapa los árboles producen principalmente tejido de alta demanda nutritiva, sin que se produzca una devolución significativa de estos tejidos al suelo. Una vez que el bosque se cierra, retorna al suelo una cantidad

considerable de reserva nutritiva en forma de materia orgánica, que hace disminuir la extracción neta de elementos nutritivos por parte de los árboles desde el suelo y sus reservas. Esto se explica por la descomposición y mineralización que afecta a los tejidos muertos. Según Schlatter³, deben diferenciarse los siguientes flujos: demanda nutritiva total del rodal; abastecimiento nutritivo desde el suelo; y abastecimiento nutritivo por reciclaje. En la etapa de acumulación, el rodal presenta una demanda anual creciente, a niveles diferentes según la edad. En la etapa de madurez el rodal presenta una demanda relativamente constante y de nivel moderado. En la fase de desmoronamiento o vejez el bosque devuelve más cantidad de nutrientes de la que extrae del suelo. Un bosque constantemente intervenido difícilmente puede alcanzar un equilibrio dinámico y tenderá a perder calidad, desmoronándose. Deberá tenerse presente, que de la calidad de la acumulación dependerá en una proporción importante el abastecimiento nutritivo de un bosque en su fase adulta.

Descripción de elementos nutritivos en estudio (Schütt et al., 1992; Finck, 1969)

Nitrógeno (N). El nitrógeno proviene principalmente de la atmósfera, en donde se encuentra en forma de N_2 . En mucho menor cantidad, se encuentra en forma mineral en los suelos. El nitrógeno en el humus, es liberado en forma de amonio (NH_4^+) y transformado a nitrato (NO_3^-), que puede ser lixiviado o nuevamente fijado por microorganismos. En su fijación juegan un importante rol las bacterias y hongos, libres o simbiotes. El nitrógeno es incorporado a la planta por las raíces en forma de iones como NO_3^- y NH_4^+ . También puede ser incorporado a través de las hojas, en forma de algunos compuestos solubles y NH_3 . El NO_3^- incorporado se encuentra en parte libre en el líquido celular de la raíz, donde es reducido a NH_4^+ . Las plantas eliminan el nitrógeno en forma orgánica, por medio de los desechos orgánicos y de la exudación de aminoácidos por las raíces. Luego vuelve a mineralizarse. El contenido de nitrógeno aumenta inversamente respecto a la edad del tejido, ya que en los tejidos jóvenes su contenido es mayor. Esto provoca que su momento de máxima demanda, sea durante el desarrollo de la masa foliar. Se considera un elemento móvil. En los vegetales, presenta valores promedio de contenido de entre 1 y 5%. La función del nitrógeno en la planta es servir como elemento en compuestos orgánicos nitrogenados, tales como proteínas, bases orgánicas, vitaminas, clorofila, etc. Además participa en el intercambio iónico y juega un importante papel en la regulación de la capacidad de síntesis de la planta y con ello la producción de tejidos.

Fósforo (P). La fuente principal del fósforo son las apatitas (minerales de fósforo naturales) que por meteorización liberan iones fosfatos. Estos son adsorbidos nuevamente por el suelo, fijados por el humus o forman compuestos difícilmente solubles. Los fosfatos son incorporados a la planta mayoritariamente como $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} , permaneciendo libres en el líquido celular, unidos a sustancias

³ Schlatter, J. 1996. Demanda Nutritiva. Apuntes de clase de Nutrición y Manejo de Suelos Forestales. Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. Valdivia. 3 p.

orgánicas o formando parte de la biomasa. Es un elemento móvil y se presenta en contenidos de entre 0,05 y 0,3%. Al suelo vuelve casi exclusivamente con los desechos orgánicos. Partes reproductivas presentan mayor contenido de fósforo orgánico. Partes jóvenes con fuerte intercambio de elementos presentan alta contenido de fósforo inorgánico. El momento de máxima demanda, es en la fase joven para el desarrollo del sistema radical y, más tarde, para la fase generativa. Forma parte de varios componentes, involucrado en procesos de activación de sustancias orgánicas en forma de fosfatos, participa en procesos iónicos.

Potasio (K). Proviene de silicatos primarios (Ej.: feldespatos), de los que, por meteorización, se libera K^+ , que puede ser adsorbido por el suelo o fijado por arcillas. Sobre un 50% de los cationes absorbidos por la planta, se encuentran libremente en el líquido celular, y alrededor de un 40% forma parte del tejido orgánico. Las hojas presentan los mayores contenidos. Plantas nuevas presentan mayor contenido que viejas. La máxima demanda se produce durante la fase vegetativa, específicamente el desarrollo foliar. Es considerado un elemento móvil y vuelve al suelo principalmente por pluvio lavado, como sales minerales. Participa en los procesos iónicos, siendo el ion más importante para la incorporación de agua. También participa en la activación de muchas enzimas, sobretodo para el transporte energético. Al parecer, no tiene un papel estructural.

Calcio (Ca). Proviene de silicatos primarios (apatitas, feldespatos etc.) y minerales calcáreos (calcita, dolomita, yeso, fosfatos de calcio, etc.). Por meteorización, se libera Ca^{2+} , que es adsorbido por el suelo o mineralizado. Los iones que ingresan a la planta, son utilizados mayoritariamente en la construcción estructural, como por ejemplo en la pared celular. Una pequeña fracción queda en el líquido celular. En cuanto a los tejidos, en las hojas hay más contenido que en raíces. Hojas viejas presentan mayores contenidos que hojas nuevas. La demanda es continua, sin puntos máximos. Es un elemento no móvil. Participa en las actividades iónicas, activación de algunas enzimas, evacuación de agua. Gran importancia como componente estructural, formando pectina, pitina, oxalato de calcio, calcita, etc.

2.6 Estudios relacionados

Cortés (2000) sostiene que existe una escasez de antecedentes en relación a estudios ecosistémicos, de productividad y ciclos de nutrientes en el bosque nativo chileno, por lo que recomienda darle énfasis a este tipo de investigaciones, considerando la importancia que tiene el conocimiento de esta materia para la planificación y desarrollo de metodologías silviculturales, que permitan potenciar el uso del bosque nativo como un sistema productivo.

Existen diversos estudios en Chile relacionados a la producción y descomposición de hojarasca y la reincorporación por ésta de los nutrientes al suelo. Salazar (1998), Becker (1981) y Cortés (2000), entre otros, analizan distintos factores relacionados a la hojarasca, pero no profundizan en las interacciones árbol-suelo.

Uno de los estudios más completos sobre un inventario nutritivo de bosques naturales de lenga creciendo en la Provincia de Última Esperanza en Magallanes, Chile, lo publica Caldentey (1992). Este autor calcula la cantidad de nutrientes ponderando los montos de biomasa de distintos componentes arbóreos con los resultados del análisis químico efectuado en submuestras de biomasa. Concluye que no existen grandes diferencias en los montos totales de nutrientes acumulados en rodales en distintos estados de desarrollo. Además, que los elementos nutritivos constituyentes de las sales minerales con mayor presencia son: calcio, seguido por nitrógeno y potasio.

Por otro lado, en la literatura se encuentran variados estudios sobre este tema, aplicados a especies de rápido crecimiento, como el género *Eucalyptus* y la especie *Pinus radiata*. Correa (1991) estudia el nivel de los principales elementos nutritivos existentes en las hojas, de distintos períodos vegetativos y diferente ubicación en la copa de *Eucalyptus regnans* y *E. delegatensis*.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Área de estudio

El área de estudio comprende un bosque del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, subtipo Remanentes Originales, ubicado en el *Arboretum* de la Universidad Austral de Chile (Anexo 2), en el sector norte de la Isla Teja, entre los Predios Parque Saval y Fundo Teja Norte.



Figura 1. Plano de la ciudad de Valdivia y ubicación del *Arboretum*

3.2 Características del suelo

El suelo, descrito anteriormente en forma genérica, posee buenas cualidades de fertilidad. Düsterhöft (2003) describe el suelo del lugar como profundo, con textura franco limosa a franco arcillosa. Presenta una estructura subpoliédrica y valores de densidad de entre $0,31 \text{ g/cm}^3$ en el horizonte superior y $0,57 \text{ g/cm}^3$ en el inferior. Según este autor, un 80% del volumen de este suelo corresponde a poros, lo que lo hace sumamente liviano. El contenido de humus varía entre 31% en los primeros 3 cm, en el límite entre el mantillo y el suelo mineral, disminuyendo hasta un 3% en el horizonte B. El suelo presenta una gradiente orgánica en profundidad, característica de los suelos trumao. La alta acumulación en los primeros 3 cm indica sin embargo que la actividad biológica presenta alguna restricción en su dinámica mezcladora, asociada a limitaciones nutritivas (cuadro 1), materia que se analiza más adelante.

Cuadro 1. Perfil de suelo en el lugar de estudio (según Düsterhöft, 2003)

Horizonte	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porcentaje de Humus (%)	Arcilla (%) *	Limo (%) *	Arena (%) *
Ah	0-3	0,31	30,8	20	65	15
A	3-9	0,34	21,8	20	65	15
AB	9-24	0,51	14,0	30	55	15
BA	24-40	0,48	9,0	20	65	15
B1	40-57	0,47	4,4	20	75	5
B2	57- >100	0,57	2,9	30	65	5

* Composición textural obtenida desde el triángulo de textura, luego de su determinación en terreno (al tacto)

3.3 Características del bosque

Desde 1971, en que se formó el *Arboretum*, se han realizado diversas actividades dirigidas a restaurar el bosque. A través de plantaciones de enriquecimiento con especies nativas, se pretende mejorar la calidad del bosque y darle una estructura que permita un mejor aprovechamiento de la superficie y produzca árboles de mayor valor. Además, mediante estas acciones, se favorece la recuperación de la fertilidad del suelo, afectada por el uso extractivo aplicado a lo largo de al menos 100 años (ganadería, extracción de hojarasca y recursos madereros y quemas). En el cuadro 2 se enuncian las actividades de restauración que han formado un nuevo estrato de árboles, que en la fecha del muestreo tenían entre 23 y 27 años de edad.

Cuadro 2. Cronograma de actividades de restauración realizadas en el bosque estudiado

Año	Actividad	Consecuencia
1971	Cercado del bosque.	Exclusión ganadería, regeneración especies arbóreas, agravamiento maleza.
1974/75	Control de malezas.	Liberación competencia para regeneración.
1975	Plantación de laurel y avellano en centro del bosque; coigüe y raulí en periferia.	Enriquecimiento del bosque.
1978/79	Control de maleza.	Liberación competencia para regeneración y plantación.
1979	Plantación laurel, tepa y avellano.	Enriquecimiento del bosque.
1978-1986	Siembra reiterada de lingue.	Enriquecimiento del bosque.

La estructura del bosque (figura 2) hace notar la forma de j inversa típica de los bosques heteroetáneos. Entre las clases diamétricas superiores existen ligeras variaciones que delatan la existencia de algunas cohortes, probablemente como consecuencia de las etapas de regeneración experimentadas por el bosque, periódicamente intervenido por el hombre en este lugar.

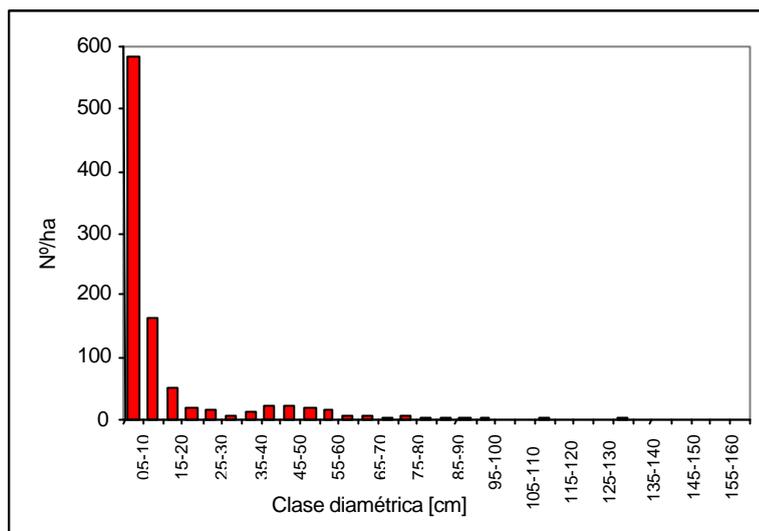


Figura 2. Distribución diamétrica del bosque en estudio (según Düsterhöft, 2003)

3.4 Biomasa del sistema

Las cantidades de biomasa (materia orgánica) existentes en todo el sistema se presentan en la figura 3 (Düsterhöft, 2003). En ella, se observa el inventario de las cantidades de biomasa en cada uno de los componentes aéreos, superficiales y subterráneos.

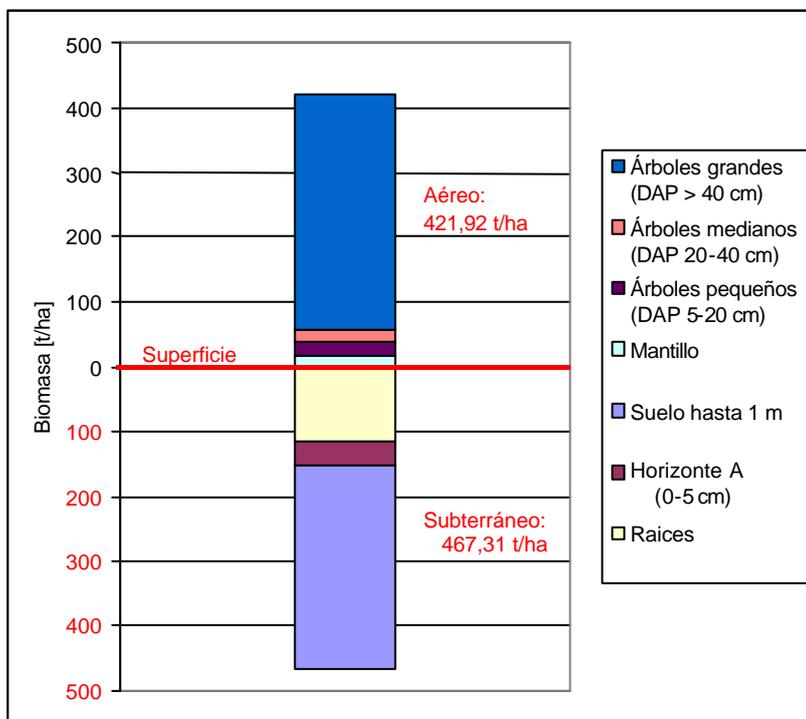


Figura 3. Distribución de biomasa (materia orgánica) del sistema (según Düsterhöft, 2003)

Además de los datos de biomasa en el rodal, se cuenta con la información de la cantidad mensual de hojarasca caída al suelo durante un período de dos años (marzo de 2001 a febrero de 2003, figura 4). La capa de hojarasca acumulada sobre el suelo, experimenta un proceso de descomposición y constituye una fuente de elementos nutritivos adicionales a las reservas del suelo. Transformados en minerales, quedan en gran parte a disposición de los vegetales y contribuyen a disminuir la demanda directa de las plantas desde el suelo.

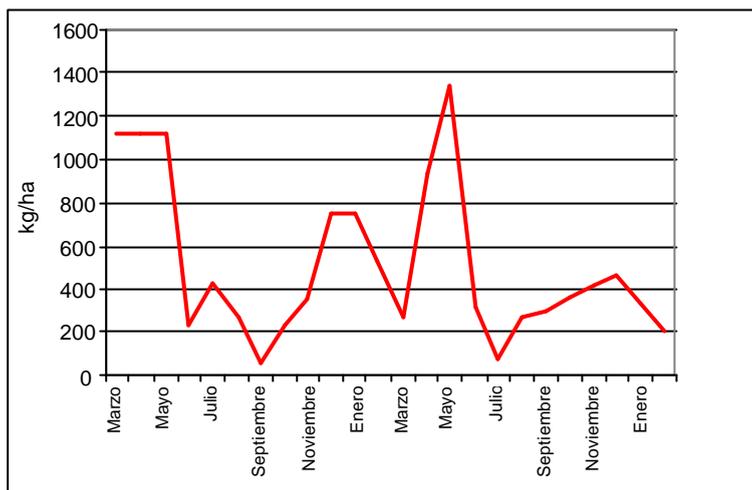


Figura 4. Distribución del aporte mensual de hojarasca entre marzo de 2001 y febrero de 2003⁴

3.5 Metodología

3.5.1 Base de datos del bosque

La base de datos sobre biomasa del bosque y las muestras de ésta fueron obtenidas del trabajo elaborado por Düsterhöft (2003). Ellas fueron utilizadas en este estudio para su análisis y evaluación nutritiva.

Muestreo de árboles. La información general sobre el bosque fue recogida mediante un censo, considerando para ello un superficie de 100 x 100 m, demarcada en forma permanente con estacas de madera. El área se dividió en cinco rectángulos de 20 m de ancho y 100 m de largo cada uno, para obtener una mayor exactitud en la medición (figura 6). Se registraron todos los individuos con un diámetro a la altura de pecho (DAP) igual o superior a 5 cm, distribuyéndolos en clases diamétricas con una amplitud de 5 cm. De dicho inventario (anexo 3), se escogieron 25 árboles de DAP entre 5 y 20 cm, a los cuales se calculó la cantidad de biomasa y la distribución de esta por

⁴ Schlatter, J. E. 2003. Instituto de Silvicultura, Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Datos inéditos.

componente, mediante muestreo destructivo. En el cuadro 3 se observa el listado de las especies utilizadas para este análisis.

Cuadro 3. Lista de árboles analizados para medición y cálculo de biomasa (nombres científicos en anexo 3)

Especie	Cantidad
Olivillo	1
Ulmo	2
Coigüe	3
Roble	2
Tepa	2
Laurel	9
Arrayán	4
Avellano	2
Total	25

Determinación de la biomasa. Cada uno de los individuos fue analizado separando sus componentes según se describe a continuación:

- Madera del tronco hasta un diámetro con corteza de 3 cm
- Corteza del tronco hasta un diámetro con corteza de 3cm
- Ramas muertas
- Ramas verdes (de diámetro mayor a 1 cm, incluyendo el ápice del árbol)
- Ramillas (de diámetro igual o menor a 1 cm)
- Hojas
- Flores y Frutos

En la figura 5 se describe gráficamente la división del árbol según componente:

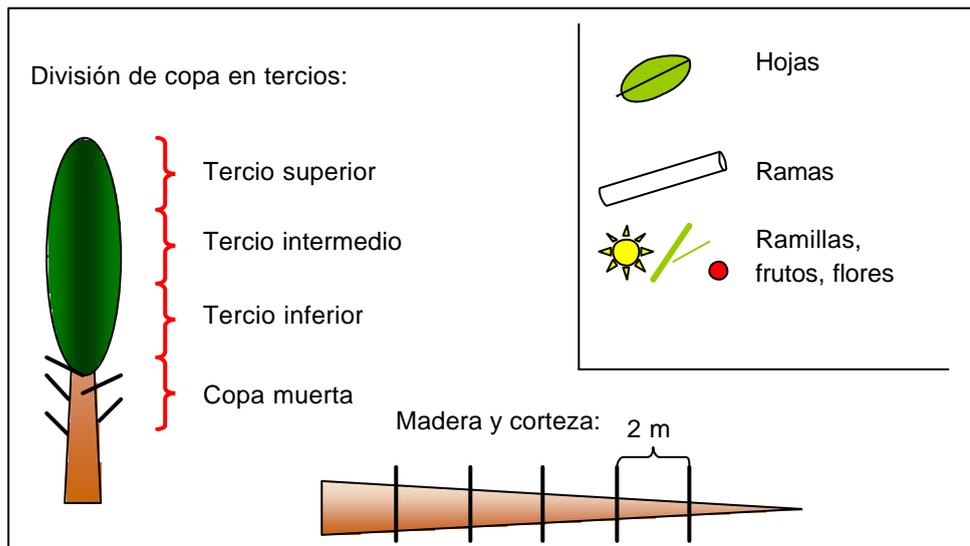


Figura 5. Disgregación de copa, tronco y árbol completo en componentes

La copa fue dividida en tercios entre la primera rama viva desde el suelo y el ápice. Las ramas verdes, ramillas, hojas, frutos y flores, fueron separadas de acuerdo al tercio de la copa del árbol del cual se extrajeron. Las ramas muertas se clasificaron como provenientes de algún tercio de la copa viva o de la copa muerta. Las ramas vivas y muertas, al igual que las ramillas, hojas, frutos y flores de cada uno de los tercios se pesaron con una balanza de precisión digital, registrándose su valor. Una muestra de cada componente por cada uno de los tercios se conservó en una bolsa plástica para su medición y análisis en laboratorio. El tronco se trozó en partes de 2 m cada una, se les tomó el peso y dos mediciones encontradas del diámetro mayor. Para efectos de análisis en laboratorio, se cortaron rodajas de la base de cada troza.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron separadas cuidadosamente según componente y fueron seleccionadas submuestras para la determinación del contenido de humedad. La humedad se determinó como la diferencia entre peso fresco y peso seco, después de un secado a 105°C por un período de 48 h, obteniéndose un factor de peso seco:

$$\text{Factor peso seco} = \frac{\text{peso seco (kg)}}{\text{peso fresco (kg)}} \quad [1]$$

Mediante la siguiente fórmula se calculó el contenido de biomasa por componente con sus respectivas unidades:

$$\text{Biomasa (kg/componente)} = \text{factor peso seco} \times \text{valor total peso en húmedo (kg/componente)} \quad [2]$$

Para el cálculo de biomasa de los componentes hojas, ramillas, madera y corteza, se incluyeron dos factores adicionales: un *factor de pérdida de humedad*, que corrige las diferencias entre las mediciones de peso fresco realizadas en terreno y las llevadas a cabo en laboratorio; y un *factor de peso fresco total*, que corrige el hecho de que solo una parte de las hojas y ramillas fue considerada en la muestra. En la obtención de valores de biomasa de los componentes restantes no fue considerado el factor de pérdida de humedad, ya que las mediciones fueron hechas de manera instantánea en terreno.

Con los valores de cada componente se obtuvo, mediante simple sumatoria, el valor total de biomasa por árbol, además de la distribución dentro de éste.

Determinación del contenido nutritivo. Las muestras tomadas de cada componente fueron entregadas para el análisis en laboratorio. Mediante el análisis nutritivo se obtuvieron los valores de contenido de elementos nutritivos por componente, sección del árbol, individuo y especie. Los procesos analíticos se encuentran detallados en el cuadro 4. Estos siguieron las normas del Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. En coigüe, el número de muestras de hojas, ramillas y ramas verdes fue de 6 por cada componente y 5 de ramas muertas,

madera y corteza. En laurel, el número de muestras fue 12 de hojas, ramillas y ramas verdes y 11 de ramas muertas, madera y corteza, por cada uno de los componentes.

El número de muestras⁵ para la determinación de contenido de macronutrientes en hojas y ramillas según el tercio de copa es de 2 para coigüe y 4 para laurel por cada tercio. Para ramas verdes y ramas muertas el número de muestras fue entre 1 y 2 en coigüe y entre 2 y 3 en laurel, dependiendo del tercio de copa. Para el tercio superior no existen muestras de ramas muertas. La cantidad de muestras para el análisis según sección del tronco es de 1 sobre los 10 m de altura y 2 de cada una de las secciones inferiores en coigüe y 1 sobre los 10 m de altura y 4 de cada sección restante en laurel. No se contaba con muestras de flores ni frutos.

Cuadro 4. Procesos utilizados para análisis nutritivo de las partes vegetales, hojarasca y mantillo

Determinación	Metodología
Contenido de N (%)	Extracción Kjeldahl y determinación colorimétrica.
Contenido nutritivo (P, K, Ca en %)	Calcinación a 500°C durante 7 horas y posterior extracción HCl 10%. K y Ca por absorción atómica; P por colorimetría.

En los gráficos de comparación de contenidos de macronutrientes en coigüe y laurel se incluyen barras que indican una desviación estándar (más y menos respectivamente) de las muestras desde la media. Además, se realizó el test de t-Student para comprobar la significancia de diferencia de las medias poblacionales, suponiendo una distribución normal de la población muestreada.

Lo mismo se incluyó en los gráficos de comparación entre tercios de copa, aunque sólo en las ocasiones en que el número de muestras haya sido suficiente para ello.

3.5.2 Base de datos del suelo

Muestreo de mantillo y horizonte A (según Düsterhöft, 2003). Del suelo de la parcela fueron tomadas 18 muestras de mantillo de acuerdo al esquema indicado en figura 6. Para tal efecto se utilizó un marco metálico de 0,1 m² de área.

⁵ En este caso se trata de muestras-mezcla, es decir, muestras formadas por tejidos de 2 a 3 árboles, salvo coigüe entre 5 a 10 cm de DAP, donde sólo se consideró un árbol y por ello una muestra pura.

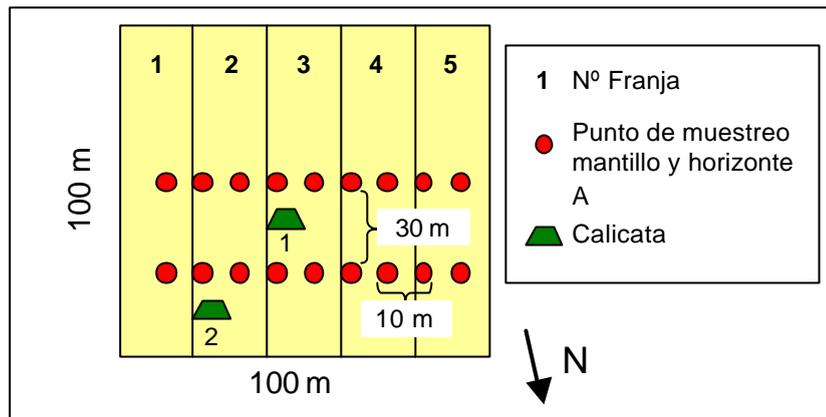


Figura 6. Distribución de muestras de mantillo y ubicación de las calicatas en el lugar de estudio

Las muestras fueron pesadas en forma individual, luego de secarlas a 75°C durante 36 h. En el laboratorio se obtuvieron un total de 6 muestras–mezcla para el análisis de contenido de nutrientes, mezclando cada tres muestras de terreno. Por el hecho de que las muestras fueron tomadas directamente del suelo, se aplicó un factor de corrección por contaminación de material mineral del suelo. Este factor se calculó midiendo la diferencia entre los valores de contenido de cenizas del mantillo y de la hojarasca recolectada.

La densidad aparente del suelo se determinó, mediante muestras de los mismos dieciocho puntos de muestreo de mantillo, extraídas con dos cilindros de aluminio de 100 cm³, dando origen a una muestra de 200 cm³ cada vez. Estas muestras fueron secadas a 105°C por un período de 60 h para luego ser pesadas. Con este valor se determinó la densidad aparente o peso volumétrico y se calculó un promedio para todas las muestras.

En los mismo puntos del muestreo se extrajeron del horizonte A muestras de aproximadamente 0,5 kg de los 5 primeros centímetros. Estas muestras fueron mezcladas de tres en tres dando origen a 6 muestras-mezcla.

Análisis del suelo y determinación de su contenido nutritivo. En dos puntos de la parcela, indicados en la figura 6, se excavaron calicatas de 1 m de profundidad, para la identificación de las propiedades físicas y químicas del suelo. En la calicata 1 (cuadro 1) se describieron las características del perfil del suelo según Schlatter *et al.* (2003) como la profundidad, el color, el tipo de suelo, la textura, la estructura, la profundidad de arraigamiento y otras (Düsterhöft, 2003). Además, se calculó la capacidad de agua aprovechable, la densidad aparente, el contenido de poros y el contenido de humus (cuadro 1 y anexo 6).

De cada uno de los horizontes fue tomada una muestra para su análisis en laboratorio. Se determinó el pH y los contenidos de elementos nutritivos C, N, P,

Al, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B y S. Los análisis fueron efectuados de acuerdo a los procesos indicados en el cuadro 5.

Cuadro 5. Procesos utilizados para el análisis químico del suelo mineral*

Determinación	Metodología
pH	Determinación electrométrica en agua destilada y en solución de KCl 0,1 N, relación suelo: solución = 1:2,5.
C total (%)	Oxidación húmeda con dicromato de K y ácido sulfúrico concentrado. Determinación colorimétrica.
N total (%)	Digestión Kjeldahl y determinación colorimétrica.
P disponible (mg/kg)	Método Olsen
Elementos disponibles (cmol+/kg)	Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al, extracción con acetato de amonio a pH 4,8-DTPA, con 2 horas de agitación.
	S, extracción con fosfato de Ca, turbidez con BaCl ₂ al 5%.
	B, extracción con CaCl ₂ y colorimetría.
Al de intercambio	Extracción con KCl, absorción atómica.
Elementos de reserva o suministrables (mg/kg)	Solución extractora de HCl al 3% en suelo bajo 2 mm. Na, K, Ca, Mg, por absorción atómica; P por colorimetría.

* Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Fac. de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

3.5.3 Hojarasca

Recolección y preparación de muestras. La hojarasca caída durante el período comprendido entre marzo de 2001 y febrero de 2003 (figura 4), fue recolectada mensualmente en nueve contenedores, de 0,25 m² cada uno, distribuidos aleatoriamente bajo la replantación de especies nativas del año 1975 y 1979. La hojarasca recolectada fue secada a una temperatura de 75°C durante 48 h para obtener el peso seco, cuyo valor fue medido y promediado entre las nueve muestras. Estas muestras fueron mezcladas de tres en tres dando origen a muestras-mezcla que fueron analizadas en laboratorio, para determinar el contenido de elementos nutritivos de acuerdo a los procedimientos presentados en cuadro 4.

3.5.4 Cálculo cuantitativo

Determinación de elementos nutritivos en tejidos vegetales. Mediante el uso de los valores de peso seco de los componentes del árbol y del contenido de nutrientes de cada uno de estos, se determinó la cantidad de elementos nutritivos por componente, con la siguiente fórmula:

$$Q_{ij} = B_j \times C_{ij} / 100 \quad [3]$$

donde: Q_{ij} = cantidad del elemento i en la biomasa del componente j (kg/árbol);
 B_j = biomasa del componente j (kg/árbol);
 C_{ij} = contenido del elemento i en el componente j (%); y

Determinación de elementos nutritivos en el suelo. Para cada horizonte se determinó la cantidad de elementos nutritivos existentes. Para ello se utilizó la siguiente función:

$$Q_{in} = P_n \times C_{in} \times k \quad [4]$$

donde Q_{in} = cantidad del elemento i en el horizonte n (kg/ha);
 P_n = peso seco del suelo del horizonte n (kg/ha);
 C_{in} = contenido del elemento i en el horizonte n (% y ppm); y
 k = 1/100, para C_{in} expresado en porcentaje y 1/1.000.000 expresado en ppm.

Determinación de elementos nutritivos en la hojarasca y el mantillo. Al igual que en la determinación de cantidades de elementos nutritivos en los tejidos vegetales y en el suelo, se calculó la cantidad de estos presentes en la hojarasca y el mantillo:

$$Q_i = P \times C_i / 100 \quad [5]$$

donde Q_i = cantidad del elemento i en la hojarasca (kg/ha);
 P = peso seco de la hojarasca (kg/ha);
 C_i = contenido del elemento i en la hojarasca (%); y

Balance nutritivo del bosque. Una vez determinada la cantidad de elementos nutritivos por cada uno de los árboles en estudio, se calculó la cantidad de nutrientes por cada una de las especies y por clase diamétrica a nivel del área cubierta por el estrato en estudio y de la hectárea. Para el cálculo de la cantidad de elementos nutritivos por hectárea, se determinó la superficie efectiva que cubre el estrato de regeneración analizado. Mediante un muestreo de 100 puntos distribuidos sistemáticamente en transectos dentro de la parcela, se determinó la proporción de cobertura del área de interés. Con esta relación se expandieron los valores a la hectárea, asumiendo un caso hipotético de existencia de un rodal con condiciones homogéneas. Así se obtuvo la cantidad de elementos nutritivos en una hectárea, utilizada para fines comparativos.

La acumulación total de elementos nutritivos en el suelo permitió calcular un valor estimado de la absorción media anual efectiva de elementos nutritivos de la regeneración (no considera las pérdidas por caída de biomasa), considerando el contenido total dividido por la edad. Este valor medio se comparó con la oferta del suelo y el aporte anual en nutrientes de la hojarasca para estructurar el balance nutritivo.

La meteorización de los minerales del suelo y la mineralización de los elementos en la biomasa en descomposición, entregan los elementos nutritivos para la absorción por parte de la planta. Para suelos arables de Europa central, Vömel (1966) encontró niveles de mineralización de nitrógeno de entre un 0,5 a un 1% anual en los horizontes superiores. Estos índices varían de acuerdo a la actividad

de descomposición de los microorganismos, de los contenidos de materia orgánica, los niveles de C/N y, sobretodo, de las condiciones de humedad y temperatura. Altos niveles de humedad y temperatura, aumentan la velocidad de descomposición y mineralización. El suelo del lugar correspondiente a este estudio, presenta mejores condiciones de temperatura que las europeas, por lo que es aceptable asumir una tasa de mineralización de un 1%. Los horizontes inferiores también aportan nitrógeno utilizable por las plantas, pero en menor grado que los superiores, ya que la temperatura y la actividad microbiana es menor. En este caso se asume un índice de mineralización de un 0,1% para dichos horizontes.

El resultado sólo sirve para una comparación estimativa, ya que no se determinaron las cantidades absorbidas por los individuos de clases diamétricas mayores ni del sotobosque.

Comparación de la demanda-oferta del estrato de regeneración considerado para el bosque nativo con una plantación de eucalipto nitens. Se realizó una comparación simple entre los valores medios del contenido de los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio y calcio y de la acumulación anual de estos nutrientes en las especies nativas plantadas por enriquecimiento y de regeneración natural con los de una plantación de eucalipto nitens de cuatro años de edad de similares dimensiones, estudiada por Aparicio (2001).

Esta plantación se ubica en Fresia, X Región, y su estudio fue realizado con el objeto de evaluar opciones de manejo nutritivo. La información utilizada en este análisis, corresponde al tratamiento sin fertilizar. En el cuadro 6 se entrega una caracterización de la plantación y la información respectiva del estrato de bosque nativo de entre 5 y 20 cm de DAP.

Cuadro 6. Caracterización del estrato arbóreo nativo (Düsterhöft, 2003) y de la plantación de eucalipto (Aparicio, 2001)

Característica	Estrato nativo	Plantación de eucalipto nitens
Edad (años)	25	4
DAP medio (cm)	9,1	11,7
H media (m)	11,66	11,4
Densidad (n/ha)	1753	1572

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis comparativo de los contenidos de macronutrientes de coigüe y laurel

4.1.1 Comparación del contenido de macronutrientes según componente del árbol

Las diferencias encontradas entre las distintas clases diamétricas no son importantes, salvo en algún caso aislado como las ramas muertas del tercio inferior, que presentan un coeficiente de variación de hasta un 30% en coigüe y 50% en laurel (anexo 7). Sin embargo, ningún componente presenta un gradiente claro entre las clases diamétricas en sus niveles de contenido de elementos nutritivos. Además, se contaba sólo con un individuo por clase diamétrica de coigüe y tres de laurel. Por esto se presentan y analizan los valores de un promedio de las tres clases diamétricas (5 a 20 cm) de cada especie.

Los resultados de la aplicación de la prueba t-Student, indican que existe una diferencia significativa (80% de probabilidad) en las medias de contenido de fósforo y potasio en la corteza. Los demás valores indican que los contenidos en laurel y coigüe no se diferencian significativamente, por lo que el análisis se basa en la comparación de las medias.

En las figuras 7 y 8 se presentan los valores promedio de contenido de los macronutrientes en ambas especies. Los valores de laurel superan a los de coigüe en las hojas y la corteza, tanto en nitrógeno como en fósforo. Las desviaciones estándar indican una diferencia entre los valores. En fósforo, también se presenta una diferencia en las ramas verdes. En nitrógeno la tendencia es similar, pero no presenta tanta diferencia entre los valores de los componentes, observándose incluso valores similares en las ramas verdes y muertas.

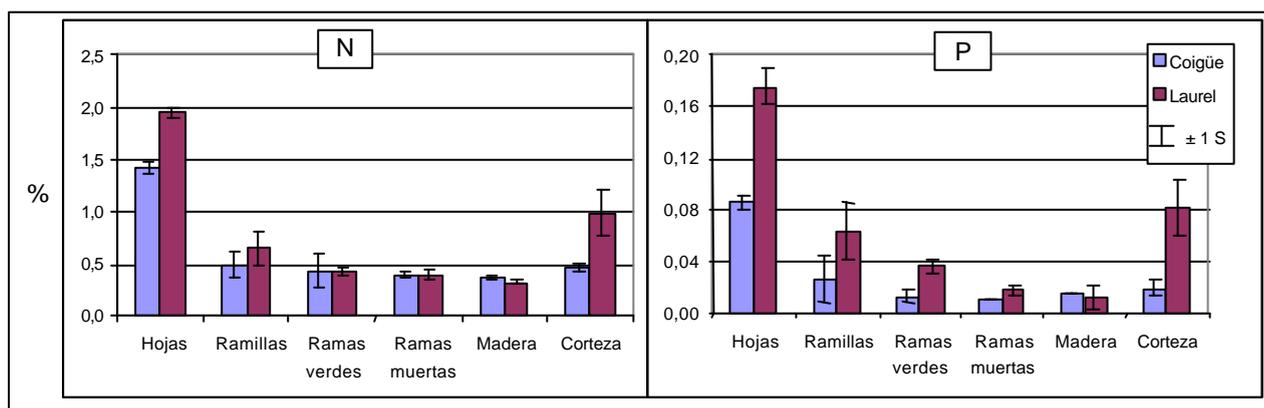


Figura 7. Contenido de nitrógeno y fósforo por componentes y especie

En la figura 8 se observan las diferencias que presenta potasio entre ambas especies, en donde los valores de laurel superan ampliamente a los de coigüe salvo en la madera y en las ramas muertas, donde hay poca diferencia. En la corteza el contenido de

potasio es significativamente mayor en laurel. Por el contrario, se observa la superioridad casi total de coigüe sobre laurel en los valores medios de contenido de calcio, con la excepción del componente hojas en que la situación es inversa, y en la corteza, en que la diferencia no es muy significativa. De los cuatro macroelementos estudiados, sólo el calcio presenta este comportamiento.

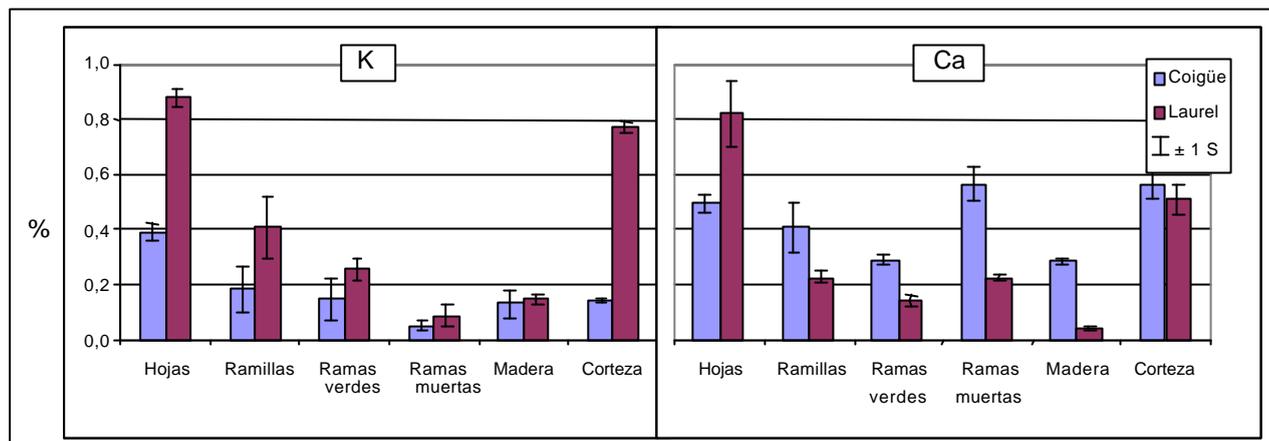


Figura 8. Contenido de potasio y calcio por componente y especie

De los valores promedio presentados se puede derivar que el laurel es más exigente en los elementos nutritivos analizados. Esta especie muestra en general un mayor contenido de elementos, lo que indica que tiene una mayor demanda. La situación es inversa en los valores de calcio.

Para laurel, se observa una gradación de valores en sentido de la actividad o edad de los tejidos: hojas, corteza, ramillas, ramas vivas, madera y ramas muertas. Coigüe presenta ligeros cambios en los valores y su orden. Calcio se presenta con valores más parejos entre los componentes, sobretodo en coigüe.

4.1.2 Distribución de macroelementos en la copa

Los resultados de la comparación con la prueba t-Student no presentaron diferencias significativas entre los contenidos de macroelementos en coigüe y laurel, por lo que se realizó el análisis en base a los valores promedio, dada la falta de mayor información.

La tendencia general que presentan los promedios corresponde a mayores contenidos de los elementos nitrógeno y potasio en el tercio superior de la copa, marcando un gradiente hacia el tercio inferior (figuras 9, 10 y 11). Sin embargo, los rangos que cubren las desviaciones estándar por componente a veces se entrecruzan, indicando que los gradientes pueden ser interrumpidos por algunos casos. Los promedios de fósforo no marcan una tendencia clara, pero los valores del tercio inferior nunca superan al superior. Los promedios de contenido de calcio igualmente indican la existencia de un gradiente, pero en el sentido contrario, salvo en las hojas y ramillas de ambas especies y en la corteza de coigüe. Para coigüe sólo se incluyeron los indicadores de desviación estándar en las ramillas, por falta de muestras de los demás

componentes. En la distribución de los niveles de contenido de macronutrientes en las hojas de laurel y coigüe, los valores son muy homogéneos en las tres secciones de la copa (figura 9). En laurel, los tercios extremos presentan promedios ligeramente mayores de nitrógeno, fósforo y potasio.

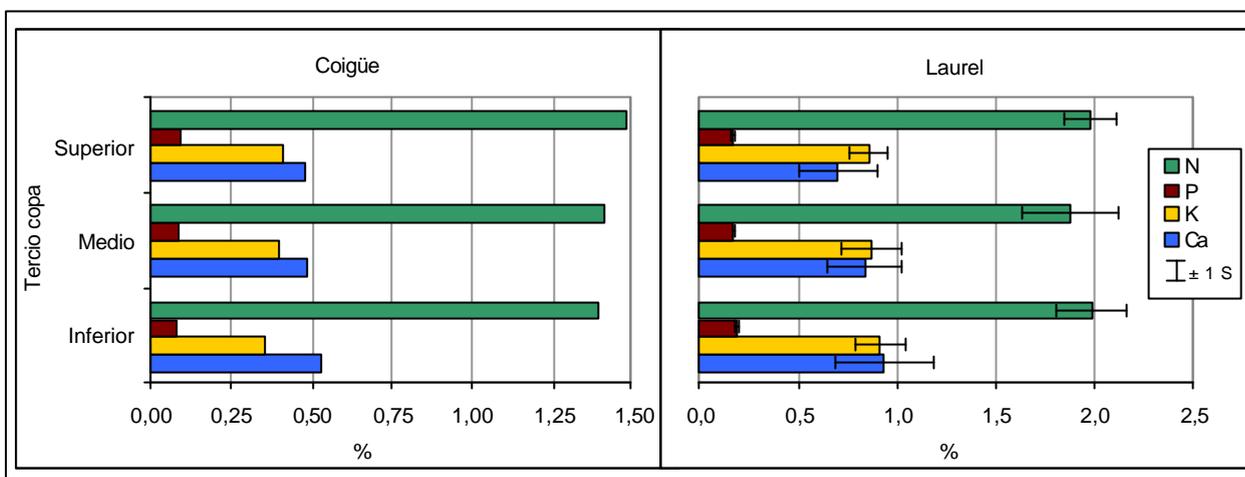


Figura 9. Contenido de elementos nutritivos en hojas de coigüe y laurel según tercio de copa

En el caso de las ramillas en ambas especies (figura 10), el gradiente muestra los mayores valores en el tercio superior. El caso más claro es el de potasio en coigüe, en que es posible confirmar la existencia de un gradiente debido a la clara diferencia entre los valores de cada tercio de la copa. El nitrógeno en laurel también presenta una clara diferenciación en los contenidos.

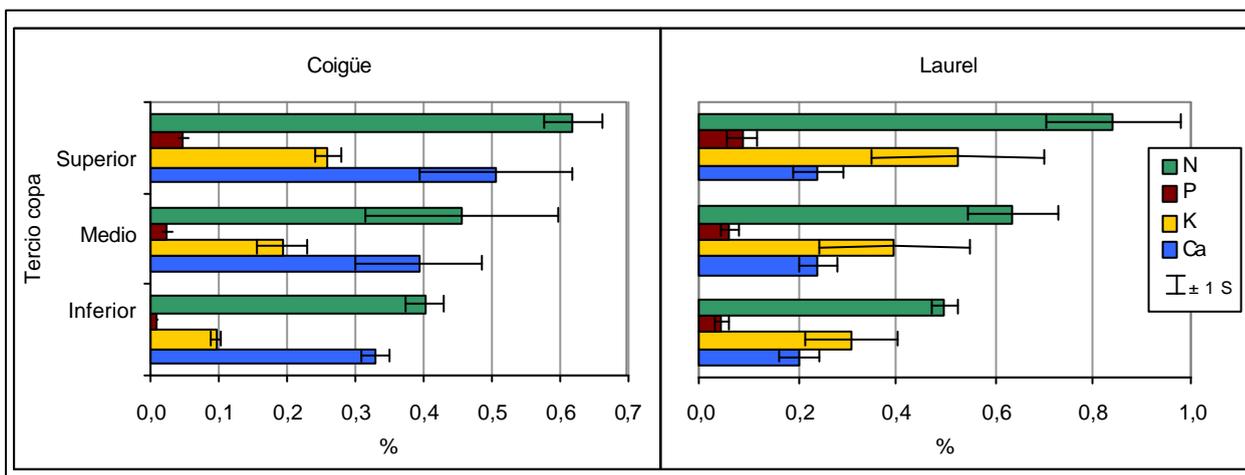


Figura 10. Contenido de elementos nutritivos en ramillas de coigüe y laurel según tercio de copa

En la figura 11, se observan los contenidos en las ramas vivas de ambas especies. En ellas se observa que los promedios de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio se presentan en mayores contenidos en el tercio superior. El elemento calcio lo hace de forma inversa. Para coigüe, no se presentan las desviaciones estándar, ya que sólo se contó con una muestra.

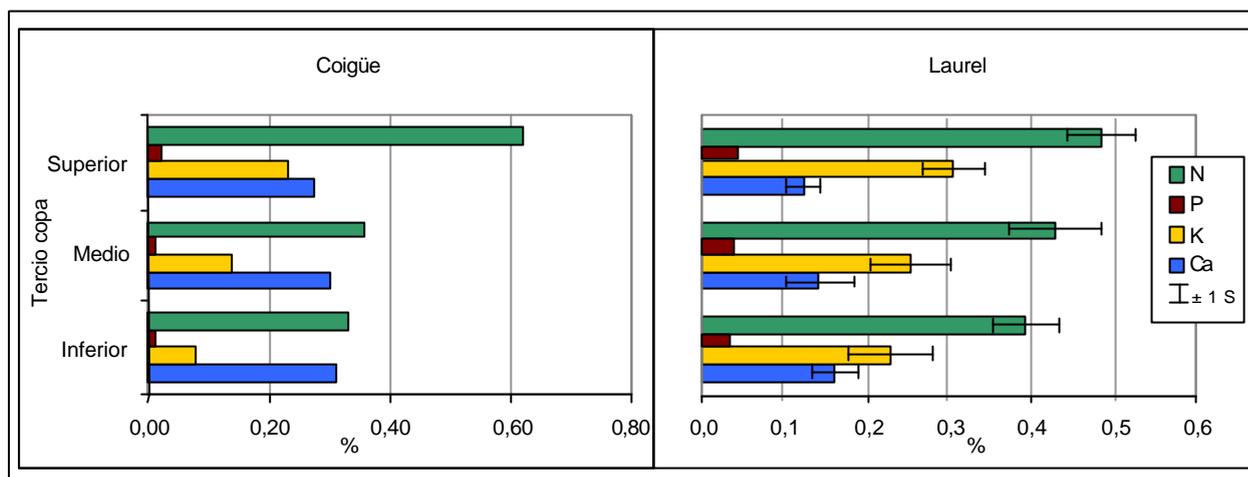


Figura 11. Contenido de macronutrientes en ramas vivas de coigüe y laurel según tercio de copa

En las ramas muertas de coigüe (figura 12), el tercio intermedio presenta el mayor promedio de contenido de calcio y potasio, seguido por el tercio inferior. No se visualiza un gradiente entre los valores de cada sección en este componente en ninguna de las dos especies.

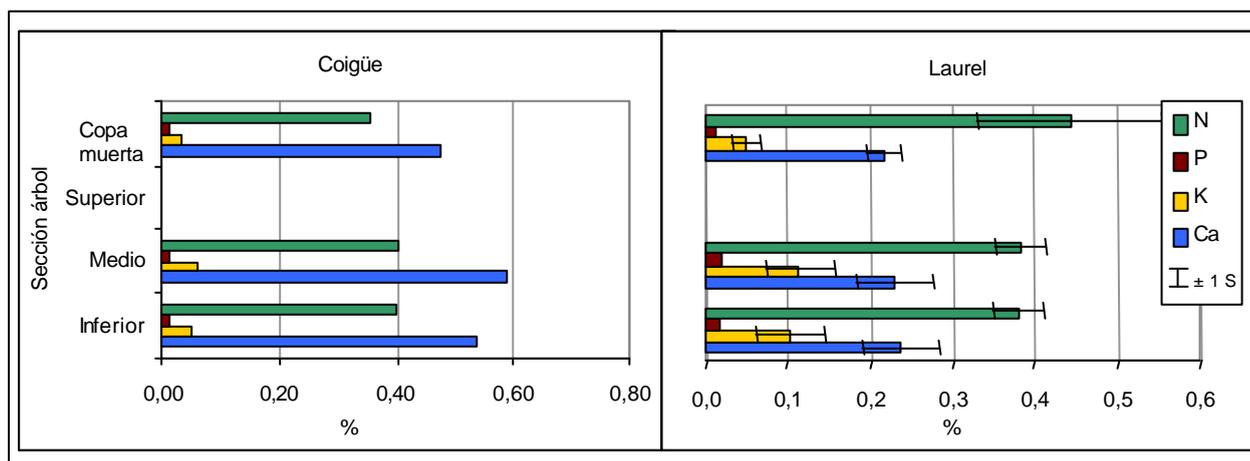


Figura 12. Contenido de macronutrientes en ramas muertas de coigüe y laurel según tercio de copa

4.1.3 Distribución de macroelementos en el tronco

En laurel se observa un aumento en los promedios de contenido de nitrógeno y muy levemente en fósforo y potasio en la madera y en la corteza a medida que aumenta la altura en el tronco. Esto se observa en la figura 13 para la corteza. En coigüe se observa un diferencia entre los contenidos de calcio en la corteza. En laurel el contenido es similar en todas las alturas. Por el reducido número de muestras, no se cuenta con datos estadísticos de apoyo.

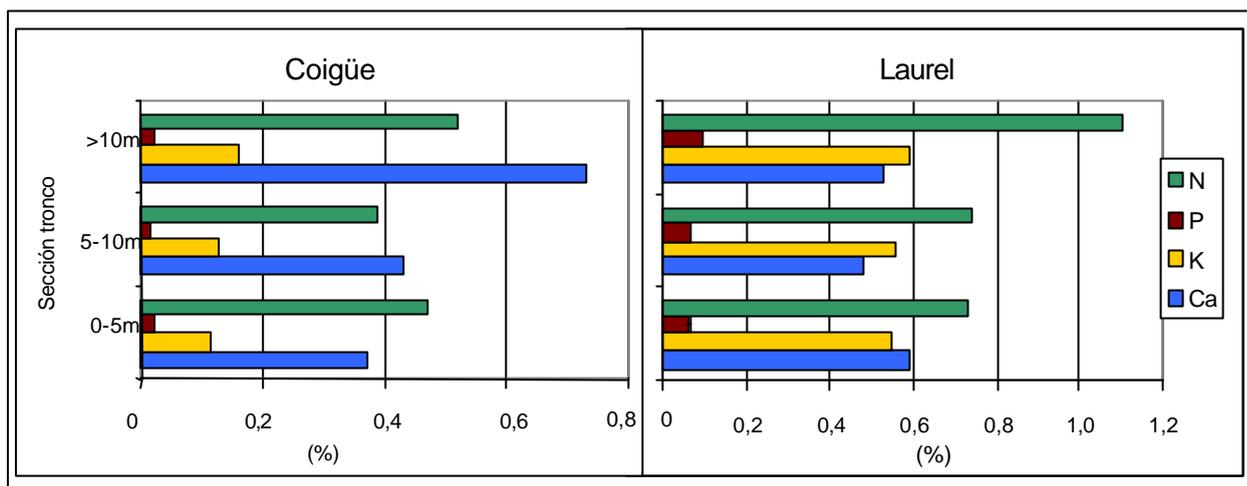


Figura 13. Contenido de elementos nutritivos en la corteza de coigüe y laurel, según sección del tronco

En coigüe sólo se observa una tendencia en calcio, tanto en la corteza como en la madera. El contenido de fósforo es homogéneo a lo largo de todo el tronco de coigüe, tanto en la madera como en la corteza, bordeando un 0,02%. La madera aumenta su contenido de potasio conforme a la altura.

4.1.4 Proporción de cantidad de macroelemento por componente

En la figura 14 se observan las cantidades de elementos nutritivos en los árboles, en donde se distingue la superioridad absoluta en cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el componente madera. Calcio presenta valores similares en la madera y corteza, lo que se explica por los altos niveles de contenido de este elemento en la corteza. Además, hay mayor cantidad en las ramas muertas, componente menos activo. Llama la atención, la superioridad en proporción de la cantidad de fósforo sobre nitrógeno en las hojas. Esto, se debe a que en las hojas el fósforo se encuentra con un mayor contenido que en los demás componentes. Los valores de contenido y cantidad de elementos nutritivos se encuentran detallados en anexo 4.

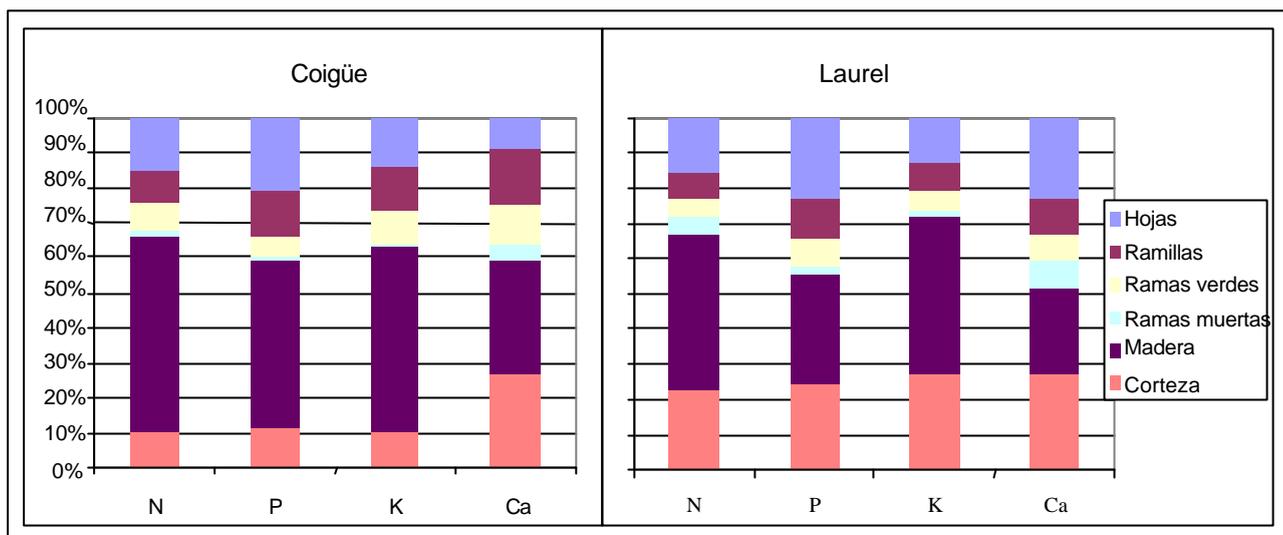


Figura 14. Proporción de cantidad de elementos nutritivos por componente en coigüe y laurel

En laurel, las mayores proporciones de cantidad en las hojas, las presentan los elementos fósforo y calcio. En las ramillas y ramas verdes las proporciones son relativamente similares. En las ramas muertas, es el calcio el elemento con mayor proporción, lo que corresponde a su condición de poco móvil. Al igual que en coigüe, las mayores cantidades se encuentran en la madera y la corteza, siendo las de la corteza de laurel superiores que en coigüe.

4.2 Cantidad total de macronutrientes acumulados en los árboles por hectárea

El estrato arbóreo de DAP entre 5 y 20 cm, formado por enriquecimiento y la regeneración natural, se presentó en un 43% de la superficie de la parcela experimental. La cantidad de elementos nutritivos acumulados en ese estrato y los mismos expandidos a la hectárea, en el supuesto que cubrieran un 100% de la superficie, se presentan en el cuadro 7. Cada especie arbórea aporta una cantidad de acuerdo a los individuos presentes, el tamaño de estos y el contenido de los elementos en ellos. Se observa que las mayores cantidades corresponden a las especies laurel, arrayán y los *Nothofagus* spp., que son las que presentan un mayor número de individuos.

Cuadro 7. Cantidad de macronutrientes acumulados a) en un 43% del área de estudio y b) expandidos a la hectárea

Especie	Nº real "a"	N	P	K	Ca	Nº / ha "b"	N	P	K	Ca
		kg/ área de estudio					kg/ha			
Coigüe	72	12,93	0,57	4,17	7,02	167	30,0	1,3	9,7	16,3
Laurel	243	27,50	1,91	14,84	8,70	565	63,9	4,4	34,5	20,2
Tepa	33	4,28	0,24	1,04	1,44	77	9,9	0,5	2,4	3,3
Olivillo	25	2,15	0,17	1,57	2,28	58	5,0	0,4	3,6	5,3
Roble	85	13,54	1,07	5,57	7,78	198	31,4	2,4	12,9	18,1
Arrayán	204	16,38	1,01	15,17	12,94	474	38,1	2,3	35,2	30,0
Avellano	39	2,30	0,15	2,23	1,32	91	5,3	0,3	5,1	3,0
Ulmo	53	3,16	0,22	1,80	2,15	123	7,3	0,5	4,1	5,0
TOTAL	754	82,25	5,33	46,4	43,6	1753	191,2	12,4	107,9	101,4

4.3 Mantillo

4.3.1 Características del mantillo

El mantillo del lugar analizado, presenta formas de humus del tipo Mull con presencia del subhorizonte Ol (=Oi) y también de un Of (=Oe), pero de poco desarrollo. Según Düsterhöft (2003), el tiempo de descomposición de la biomasa, mediante los procesos de humificación y mineralización, es de un promedio de 2,2 años. En este periodo se descomponen totalmente los tejidos más degradables, como las hojas, e incluso los más resistentes, como la madera y las ramas. En este horizonte se observa una actividad biológica normal.

4.3.2 Contenido de elementos nutritivos en el mantillo

En el cuadro 8 se presentan los valores de contenido promedio de elementos nutritivos en el mantillo para las seis mezclas, conformadas cada una por tres muestras tomadas en terreno.

Cuadro 8. Contenidos de elementos nutritivos por muestra-mezcla del mantillo

Muestra-Mezcla	Elementos mayores (%)					Elementos menores (ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Promedio	1,07	0,07	0,07	0,75	0,16	3170	549	9,4	30	28
CV (%)	13,2	10,5	20,5	12,1	11,9	27,9	13,2	11,4	6,8	13,7

Los valores del contenido de cada uno de los elementos en el mantillo, varían en no más de 20% entre las seis muestras-mezcla respecto al promedio, excepto el potasio y el hierro, que presentan una variación ligeramente superior.

4.3.3 Cantidad de elementos nutritivos en el mantillo

Las cantidades de los macronutrientes del mantillo en el bosque, se presentan en el cuadro 9. Los valores corresponden a la capa de mantillo de 3-4 cm de grosor.

Cuadro 9. Cantidad de elementos en el mantillo (kg/ha)

Materia seca*	N	P	K	Ca
14.580	164,4	11,1	10,3	115,8

* Según Düsterhöft (2003)

4.4 Suelo

4.4.1 Características químicas del suelo

En los cuadros 10 y 11 se presentan los resultados del análisis químico del suelo.

Cuadro 10. Análisis químico del suelo: acidez, relación C/N y contenido de macroelementos y bioelementos carbono, aluminio y sodio extraíbles

Horizonte	Profundidad (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	Ct	Nt	C/N	P	Al	Na	K	Ca	Mg
				%								
Ah	0-3	-	-	17,86	1,31	13,7	8,4	1.280	147	312	1.060	460
A	3-9	5,18	4,41	12,64	0,92	13,8	3,8	3.610	79	171	110	84
AB	9-24	5,21	4,85	8,11	0,54	15,1	1,6	2.470	48	44	36	20
BA	24-40	5,31	5,21	5,23	0,36	14,7	3,0	1.610	28	19	19	10
B1	40-57	5,38	5,49	2,57	0,22	11,7	2,2	1.380	27	7	13	9
B2	57-100	5,27	5,61	1,70	0,16	10,9	3,0	1.110	29	10	21	18

En el cuadro 10 se observa el alto contenido de carbono de los primeros horizontes del suelo, especialmente el Ah. Esto concuerda con los elevados valores de humus que también se presentan en ellos (cuadro 1), lo que indica que existe una acumulación de estos elementos en el horizonte superior, fenómeno provocado por la fase de recuperación en que se encuentra el suelo. Esto mismo ocurre con los valores de fósforo, que en los primeros 3 cm son buenos, pero de ahí hacia los horizontes inferiores decaen a niveles bajos y muy bajos. El alto contenido de aluminio extraíble es probablemente la causa de que no exista mucho fósforo disponible. Lo mismo puede ser el motivo de la brusca disminución del contenido de humus a partir del horizonte AB, ya que la acidez provocada por el aluminio actúa como una barrera frente a la actividad biótica mezcladora. En el cuadro 11 se observan los elevados valores de saturación de aluminio, sobretodo en los horizontes A. El resto de los elementos nutritivos sigue la tendencia del carbono y nitrógeno, disminuyendo sus contenidos a medida que aumenta la profundidad. El hierro es el único que se mantiene relativamente constante, aumentando incluso sus niveles hacia los horizontes B1 y B2.

Cuadro 11. Análisis químico del suelo: contenido de bioelementos menores extraíbles, suma de bases y saturación de aluminio

Horizonte	Profundidad (cm)	Fe	Mn	Cu	Zn	B	S	Al-KCl	Suma Bases	Al-KCl	Saturación de aluminio
		ppm							cmol+/kg		%
Ah	0-3	260	222	3,8	8,6	1,3	14	128	10,53	1,42	11,90
A	3-9	250	28	6,2	1,6	1,2	5	166	2,02	1,84	47,61
AB	9-24	160	17	4,8	0,5	0,8	10	21	0,67	0,23	25,96
BA	24-40	100	5	2,2	0,1	0,2	15	3	0,34	0,04	10,00
B ₁	40-57	150	4	1,3	0,1	0,1	11	1	0,28	0,01	4,74
B ₂	57-100	340	6	1,9	0,1	0,0	16	1	0,40	0,01	2,17

4.4.2 Características químicas del suelo superficial (0-5 cm)

En los cuadros 12 y 13 se presentan los resultados de los análisis químicos de las seis muestras-mezcla. Además, se indica el grado de variabilidad entre los valores de cada muestra-mezcla.

Cuadro 12. Valores promedio y variabilidad de pH, contenido de macroelementos, aluminio y sodio extraíbles en el suelo superficial (0-5 cm)*

Muestra-Mezcla	pH H ₂ O	pH KCl	Nt (%)	P	Al	Na	K	Ca	Mg
	(ppm)								
Promedio	4,87	4,15	0,82	11,8	2.421	141	350	955	470
CV (%)	4,0	5,2	16,2	28,9	11,3	23,7	24,9	22,3	23,1

* Profundidad del cilindro utilizado para la extracción de las muestras.

Cuadro 13. Valores promedio y variabilidad de contenido de bioelementos menores extraíbles y saturación de aluminio del suelo superficial (0-5 cm)*

Muestra-Mezcla	Fe	Mn	Cu	Zn	B	S	Al-KCl	Suma Bases	Sat. Al
	(ppm)							meq/100g	(%)
Promedio	540	199	7,1	12,5	1,08	2,7	171	10,17	15,3
CV (%)	21,8	26,6	22,4	25,7	21,4	54,5	43,4	19,9	33,4

* Profundidad del cilindro utilizado para la extracción de las muestras.

Las variaciones del contenido de los elementos nutritivos de interés para este estudio en los primeros 5 cm de la superficie, no sobrepasan un 30%. Los valores de nitrógeno en las muestras del horizonte A, son los más homogéneos, seguidos por los de calcio y potasio. El azufre y el fósforo presenta las mayores variaciones en los contenidos. Los valores de todos los elementos son altos a muy altos, salvo los de azufre que son muy bajos.

4.4.3 Oferta nutritiva del suelo (cantidad)

Los valores de cantidad de macroelementos que presenta el suelo se observan en el cuadro 14:

Cuadro 14. Cantidad disponible y de reserva suministrable de elementos en el suelo; calicata 1

Horizonte	Profundidad (cm)	Disponible			Reserva suministrable			
		P	K	Ca	N (t)	P	K	Ca
		kg/ha			kg/ha			
Ah	0-3	0,78	29,0	98,5	1.218	s.i.	s.i.	s.i.
A	3-9	0,78	34,8	22,4	1.876	95,8	96,4	141,3
AB	9-24	1,22	33,6	27,5	4.131	267,7	72,0	261,6
BA	24-40	2,30	14,5	14,5	2.764	228,1	41,6	129,7
B1	40-57	1,76	5,5	10,3	1.757	223,7	29,9	67,2
B2	57-100	7,35	24,5	51,4	3.921	539,2	79,6	185,7
TOTAL	100	14,20	142,3	225	15.670	1.354,7	319,8	785,9

s.i.: sin información

t : nitrógeno total

Se observa la diferencia entre los valores de elementos nutritivos disponibles y los de reserva suministrable (HCl 3%), siendo la mayor diferencia la del fósforo. En todos los elementos, los valores de reserva superan ampliamente a los disponibles. Potasio y calcio, son los que menor diferencia presentan entre el extracto de reserva y el de disponibilidad.

4.5 Aporte nutritivo de la hojarasca

La hojarasca que arrojan los árboles de todo el sistema, aporta una considerable cantidad de elementos nutritivos que pueden ser utilizados por las plantas, al cabo del proceso de mineralización. Estos valores se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Cantidad de macroelementos aportados por caída anual de hojarasca

Periodo	N	P	K	Ca
	kg/ha			
Año 1	82,06	5,29	15,40	66,47
Año 2	67,72	3,55	10,32	39,22
Promedio	74,89	4,42	12,86	52,85
CV (%)	13,54	27,84	27,93	36,46

4.6 Balance nutritivo

Al reunir la información de las cantidades de los macronutrientes en el estrato de vegetación, en el mantillo y en el suelo, se obtiene el balance total del sistema. Esta información se presenta en las figuras 15 y 16.

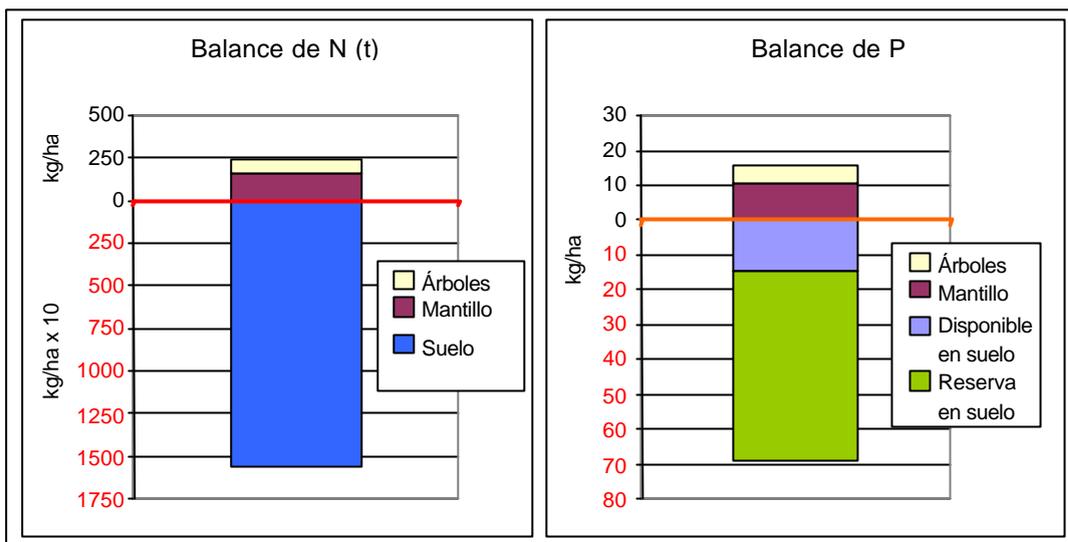


Figura 15. Balance de nitrógeno total y fósforo (disponible y reserva suministrable del suelo) en el sistema, de los árboles en regeneración (5-20 cm de DAP) y el suelo hasta 1 m de profundidad

De los gráficos anteriores se desprende que nitrógeno presenta 82 kg/ha en la parte aérea, 164 kg/ha en el mantillo y casi 16 t/ha contenidas en el suelo, éste último como nitrógeno total. Fósforo se encuentra distribuido en 5,3 kg/ha en el vuelo, 11 kg/ha en el mantillo y 14 kg/ha de elemento disponible en el suelo y un poco más de 1,3 t/ha como reserva suministrable.

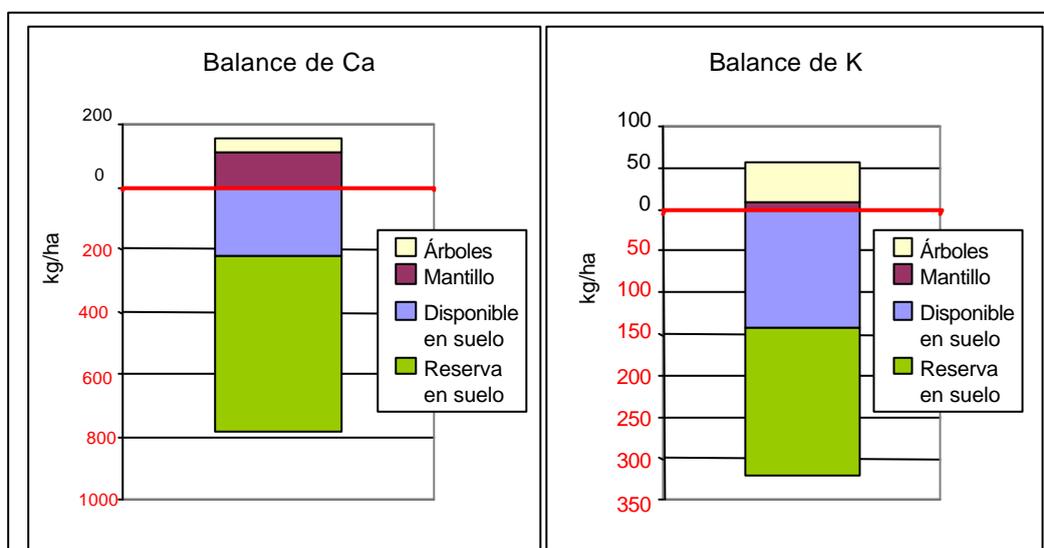


Figura 16. Balance total de calcio y potasio (disponible y reserva suministrable del suelo) en el sistema, de los árboles en regeneración (5-20 cm de DAP) y el suelo hasta 1 m de profundidad

Las cantidades de potasio en el sistema se encuentran distribuidas de la siguiente manera: 46 kg/ha contenido en los árboles, 10 kg/ha en el mantillo, 142 kg/ha disponible en el suelo y 320 kg/ha en forma de reserva suministrable.

Las cantidades de calcio en el sistema se distribuyen en 44 kg/ha en el estrato arbóreo estudiado, 116 kg/ha contenido en el mantillo, 225 kg/ha en el suelo como inmediatamente disponible para el bosque y 786 kg/ha como reserva.

Para la estimación de la absorción efectiva media de elementos nutritivos por la parte aérea de los árboles que componen el estrato en estudio, es preciso aclarar que no se consideran las cantidades de elementos reciclados a través de la hojarasca, ni aquellos evacuados por la planta conforme al ciclo natural del elemento. Además, las cantidades de absorción de elementos nutritivos por los estratos arbóreos superiores y por el sotobosque no fueron determinadas.

Con una edad promedio de 25 años, los valores absorbidos en cada año por el estrato arbóreo expandido a la hectárea, son de 7,65 kg/ha de nitrógeno, 0,49 kg/ha de fósforo, 4,3 kg/ha de potasio y 4,06 kg/ha de calcio. Contrastando estos valores con la oferta en nutrientes del suelo más las cantidades aportadas por la caída de hojarasca, es posible afirmar que no existen restricciones de estos cuatro elementos que provoquen estrés nutricional en los individuos de entre 5 y 20 cm de DAP. El valor más crítico podría ser el potasio, que es el que menor cantidad presenta en el suelo y mantillo, en comparación a la cantidad acumulada en los árboles. Sin embargo, la cantidad total existente en el mantillo y en el suelo (sin reserva), más el aporte anual en hojarasca, sobrepasa en múltiples veces lo requerido. Si además se considera la cantidad de reserva en el suelo (320 kg/ha) y el aporte en potasio proveniente del pluviolavado, no se puede hablar de deficiencia.

De acuerdo al procedimiento de estimación descrito en la metodología, en este caso los primeros 24 cm proporcionarían a la vegetación alrededor de 72,2 kg/ha-año de nitrógeno (Figura 17). De los horizontes inferiores se liberarían unos 8,4 kg/ha anuales, que sumados al nitrógeno de los horizontes superiores, ponen a disposición cerca de 81 kg/ha/año. El aporte de la hojarasca de 75 kg/ha-año es entregado al suelo, pero esta misma cantidad es absorbida anualmente por el total de los árboles, para renovar la biomasa caída, por lo que esta cantidad es sumamente estática. En los 25 años (promedio) de existencia, 3,3 kg/ha-año de nitrógeno han sido absorbidos por el estrato arbóreo de regeneración y plantación (5-20 cm de DAP, de un 43% de cobertura de la hectárea) y 1,3 kg se acumularon en él quedando fijados en el fuste, que presenta alrededor de un 40% de la cantidad de nitrógeno del árbol (anexo 8).

Para dar una mejor visión de la dinámica, se debe incurrir en algunos supuestos. Se puede asumir un crecimiento de un bosque como el analizado en este estudio, de alrededor de 6 a 10 m³/ha anuales. Esto corresponde a un incremento de 3.000 a 5.000 kg/ha-año en peso seco del tronco (promedio de densidad de la madera de 0,5 g/cm³ y 0,3 g/cm³ para la corteza), de lo cual un 10% corresponde a la corteza. Considerando los contenidos promedio de nitrógeno de 0,27% para la madera y 0,59% para la corteza de las especies presentes en el bosque, se obtienen cantidades de absorción de entre 9 y 15 kg/ha-año de nitrógeno. Junto a la cantidad de nitrógeno que es absorbida por los árboles para la renovación de su biomasa eliminada en forma de hojarasca, se obtiene un total aproximado de 88 kg/ha-año. Dado a que el suelo libera 83,9 kg/ha-año de nitrógeno y la hojarasca aporta 75 kg/ha-año la oferta anual puede estimarse en este ecosistema de 158,9 kg/ha-año. Con esto la demanda del bosque es completamente

cubierta. Incluso, en alguna proporción, el nitrógeno puede abandonar el sistema por lixiviación o acumularse en el suelo.

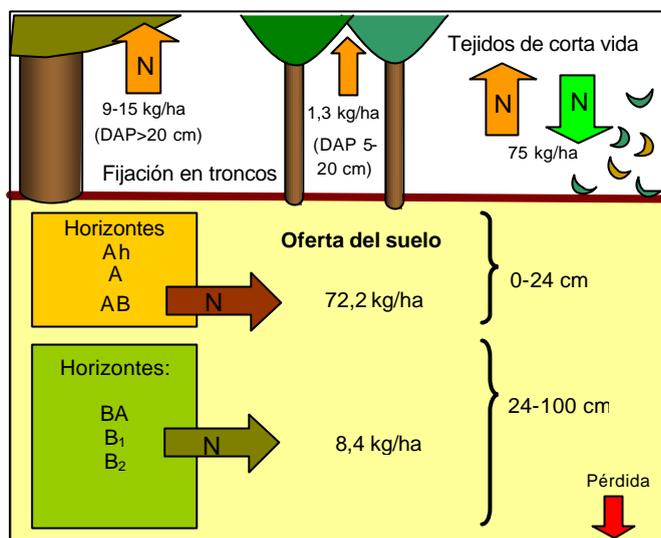


Figura 17. Ciclo del nitrógeno en el bosque nativo analizado (valores de flujos anuales)

4.7 Análisis comparativo entre estrato nativo y plantación de eucalipto

Los promedios de contenido de nitrógeno en eucalipto nitens, se asemejan a los niveles en laurel, siendo superados por este en la corteza. Los mayores promedios se encuentran en los tejidos más activos como las hojas y la corteza. El valor más bajo es el de las ramas muertas, que es menor que el de las dos especies nativas, y el de la madera, en que presenta valores muy similares a coigüe y laurel (figura 18).

El promedio de contenido de fósforo en eucalipto (figura 18) es mayor que en coigüe en todos los componentes. En los componentes más activos, presenta menores valores que el laurel. En las ramas muertas y en la madera se presenta un valor levemente mayor que en las especies chilenas.

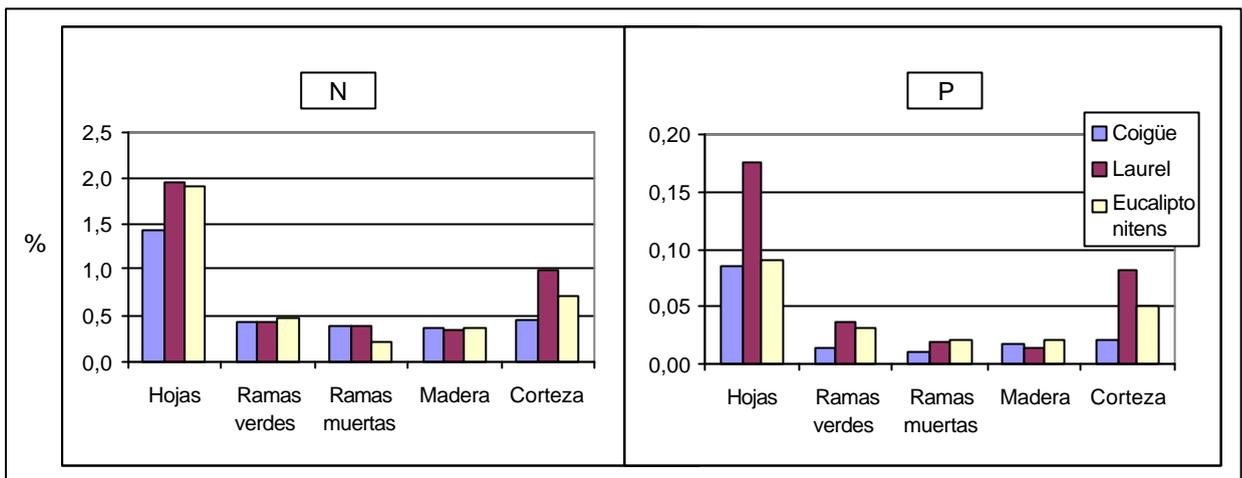


Figura 18. Promedios de contenido de nitrógeno y fósforo por componente en coigüe, laurel y eucalipto (datos eucalipto según Aparicio (2001))

Los valores medios de contenido de potasio en eucalipto son superiores a los de las especies nativas en todos los componentes, menos en las hojas, en que son superadas por los valores en laurel (figura 20) y en la corteza, en que presenta un valor similar al de laurel. En las ramas verdes y muertas y en la madera, los valores son superiores por más del doble que los de coigüe. Igualmente son superiores a los de laurel, pero en menor proporción. Los niveles de contenido de calcio en eucalipto (figura 19) igualmente superan a los de las especies nativas, salvo en la madera, donde coigüe presenta el valor más alto. Pero es este elemento el que marca la mayor diferencia entre eucalipto y las otras dos especies.

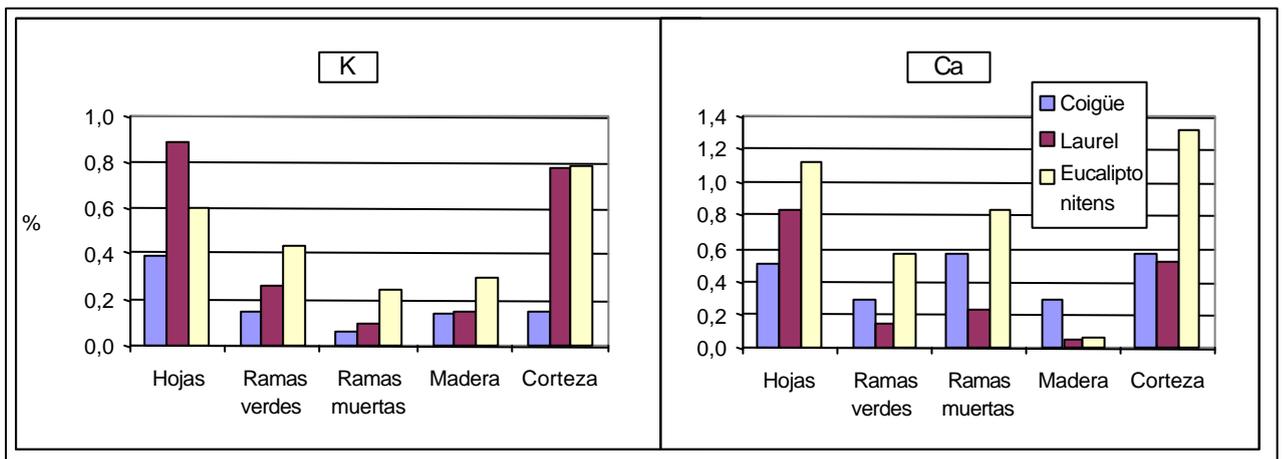


Figura 19. Promedios de contenido de potasio y calcio por componente en coigüe, laurel y eucalipto (datos eucalipto según Aparicio (2001))

Los valores presentados en el cuadro 16, demuestran el nivel de la demanda anual promedio de elementos nutritivos por tipo de bosque. Se distingue claramente el

contraste entre el estrato nativo y la plantación de *Eucalyptus nitens*, ésta última con una demanda anual 10 a 20 veces superior a la otra, según elemento.

Cuadro 16. Absorción anual media neta por tipo de bosque*

Bosque	Edad (años)	Biomasa aérea acumulada (t/ha)	Absorción anual media neta (kg/ha/año)			
			N	P	K	Ca
Estrato nativo	24-27	20,58	7,64	0,49	4,31	4,05
Plantación <i>E. nitens</i> **	4	58,08	93,9	4,62	62,2	86,8

*Promedio anual desde inventario de bioelementos; no considera hojarasca.

** Aparicio (2001)

Los resultados demuestran la exigencia en la demanda de nutrientes por parte del eucalipto en forma de cultivo. Debido a esto, logra altos niveles de rendimiento que le hicieron ser una de las especies más plantadas en Chile. Sin embargo, para poder mantener este rendimiento, los suelos deben poseer la oferta adecuada de nutrientes para su desarrollo. Sin la disponibilidad de esta oferta, los suelos deben ser fertilizados, lo que aumenta los costos del proyecto de plantación. Si esta fertilización no se realiza de forma adecuada, las plantas no podrán desarrollarse bien, perdiendo parte de su potencial productivo.

4.8 Discusión sobre el estudio

Respecto al primer objetivo, se observó que laurel presenta mayores valores de promedios de contenido de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio que coigüe. Calcio fue el único de los cuatro elementos nutritivos que presentó mayor contenido en coigüe, salvo en las hojas. Este fenómeno tiene relación con las propiedades ecológicas del coigüe, que es una especie pionera adaptada a colonizar sitios en condiciones extremas (Donoso, 1981), con una baja oferta nutritiva. En ambas especies, los mayores contenidos de los cuatro elementos se encontraron en la masa foliar, excepto las del calcio en el coigüe. Esto concuerda con la actividad que realiza este tejido, superior a la de cualquier otro en el árbol. Los procesos de generación de energía y de transpiración, requieren de un elevado contenido de elementos, puesto que sin ellos la planta no sería capaz de regular los procesos fisiológicos. En ambas especies, se observa una gradación de mayores a menores concentraciones de elementos conforme a la actividad de los tejidos y a la proporción de células vivas. Así, los mayores valores de nitrógeno, fósforo y potasio, después de las hojas, los presentan la corteza, las ramillas, las ramas vivas, la madera y finalmente las ramas muertas. Calcio presenta valores más homogéneos entre los componentes, dada su característica de ser poco móvil y ser componente estructural de la pared celular. Sin embargo, en las hojas y en la corteza de laurel, los niveles medios superan por más del doble a los de los componentes más leñosos.

Con respecto a la distribución de los elementos en la copa, se detectaron mayores valores promedio de nitrógeno, fósforo y potasio en el tercio superior, disminuyendo gradualmente hacia los inferiores. Lo mismo ocurre en el fuste de laurel. Esto indica el grado de movilidad de estos elementos, que son transportados hacia la parte de la copa que mayor actividad presenta. De forma inversa, calcio tiende a mantener e incluso aumentar sus niveles en las secciones de la copa menos activas o más antiguas, lo que

provoca una acumulación de este elemento en lo tercio inferior. En cuanto a la cantidad de elementos, los componentes que presentan los mayores valores son la madera, la corteza y, en menor grado, las hojas. Esto es consecuencia de la acumulación de biomasa de la madera y de las altas concentraciones de elementos en los dos últimos componentes.

El estrato de árboles establecidos por enriquecimiento y por regeneración natural, compuesto por ocho especies nativas, presentó una cobertura de un 43% en la parcela experimental (1 ha). El resto del área se encuentra cubierta por árboles de clases diamétricas mayores. Una parte de los árboles de clases diamétricas superiores a 20 cm fue extraída después del muestreo, en alrededor de un 15% de la biomasa, dejando sectores descubiertos (Düsterhöft, 2003). El espacio abierto puede ser utilizado así por los árboles que quedaron en el lugar, disponiendo de una mayor cantidad de luz y elementos nutritivos. Esto es especialmente positivo para los individuos de las clases diamétricas analizadas, ya que se produce una liberación de espacio y de recursos, presentándose la oportunidad de crecer a un ritmo más acelerado.

Para cumplir con el segundo objetivo de este estudio, se analizó la situación hipotética de una cobertura total del estrato de DAP entre 5 y 20 cm, es decir se consideró el supuesto caso de que este estrato cubriera el 100% del área. Las cantidades de elementos nutritivos se expandieron así 2,3 veces, para obtener los valores por hectárea.

Las cifras cuantitativas obtenidas en el balance del sistema demuestra que las cantidades de cada elemento nutritivo en el estrato arbóreo de entre 5 y 20 cm de DAP, constituyen una pequeña parte. La mayor proporción se encuentra en el suelo, constituyendo más de un 98% del total de las existencias de nitrógeno y fósforo, y alrededor de un 84% de potasio y calcio. Si este bosque estuviera compuesto solamente por este estrato, no tendría la competencia de los árboles mayores, que en la actual condición presentan una gran ventaja al tener su sistema radicular altamente desarrollado. Se darían entonces condiciones excelentes para alcanzar un rendimiento superior y potencial del bosque. Si además se aplicara una dosis de calcio al suelo, para contrarrestar los efectos del aluminio, se bajaría la acidez del suelo, proporcionando mejores condiciones para la actividad biótica. Esto haría que la materia orgánica penetre los horizontes más profundos y se favorezca la estructura. En las condiciones actuales los árboles están fuera de estrés, ya que el régimen de nutrientes, luz y agua está en equilibrio. Además, el estrato en estudio puede regular mejor su crecimiento acorde a la oferta de recursos, gracias a la protección que posee por los árboles de mayor envergadura, los cuales dosifican la energía solar. En el caso de que se libere un espacio proporcionando una mayor cantidad de recursos, ya sea por forma natural o por una intervención silvícola, el desarrollo de los individuos del estrato se verá favorecido, pero en semisombra no se acelerará tanto como para quedar bajo condiciones de estrés.

En la comparación entre las dos especies nativas y la especie exótica, *Eucalyptus nitens*, queda claro que última ésta requiere de altas cantidades de elementos nutritivos. Especialmente en potasio y calcio, donde los valores de contenido superan a los de las especies chilenas. Los valores promedio presentados de nitrógeno y fósforo, son intermedios entre los de las otras dos especies, estando mayormente el laurel sobre el

coigüe y el eucalipto. Esto indica el grado de exigencia que presenta el laurel. Sin embargo, la especie crece bajo la cobertura de árboles adultos, lo que le proporciona las condiciones propicias para poder regular su crecimiento, sin someterse a estrés. En cambio el eucalipto no posee protección alguna y su crecimiento, además de ser más acelerado, se ve condicionado por la oferta de nutrientes del suelo y del aporte de estos por fertilización. Considerando además el corto periodo en que el eucalipto absorbe cantidades similares de nutrientes a las que absorben laurel y coigüe en un tiempo mucho más prolongado, y que el grado de reciclaje en una plantación de eucalipto es menor en la etapa de crecimiento hasta el total cierre de copas (4 años), la fertilización se hace indispensable para obtener un bosque productivo que no dependa solamente de la capacidad de entrega del suelo (Aparicio, 2001).

Lo anterior tiene efecto en el manejo forestal. En un cultivo forestal de rápido crecimiento, como es el caso de los eucaliptos, el ingeniero forestal está obligado a un programa exigente de intervenciones, con menor flexibilidad de oportunidades. En cambio, el ritmo de crecimiento de especies bajo semisombra, como lo es el caso del laurel, por enriquecimiento, y el coigüe, roble y ulmo por regeneración natural, es considerablemente menor, lo que permite que el profesional tenga más tiempo por oportunidad de intervención, favoreciendo la atención de superficies mayores. Sin embargo, el potencial de crecimiento de la regeneración bajo dosel en el caso estudiado es considerablemente mayor y dependiente del grado de luz, es decir, energía (Burschel y Huss, 1997). El equilibrio adecuado entre energía incidente, controlada por la periódica cosecha del dosel superior, y el crecimiento, es el camino para este tipo de bosques, siempre dosificándolo para no sobrepasar la capacidad nutritiva del ecosistema. En caso contrario, deberá también incorporarse fertilizantes, cuando la dosis de energía y agua estimulen el crecimiento a mayor ritmo.

El bosque nativo es incluso capaz de mejorar la condición nutritiva del suelo. Si bien el rendimiento a corto plazo es menor al de la plantación exótica, el bosque nativo puede entregar productos de forma sustentable en el tiempo, sin sobreexigir al suelo ni al ecosistema que integra. En primer lugar se adapta a la oferta nutritiva y por otra parte devuelve una considerable proporción de los elementos nutritivos absorbidos vía hojarasca, en beneficio del suelo superficial, además de los procesos de fijación biológica, que deben agregarse pero que son desconocidos.

Debido a que este estudio está basado en información obtenida del trabajo de Düsterhöft (2003), se contaba sólo con un determinado número de muestras. Este es un aspecto que debiera mejorarse, aumentando la cantidad de muestras utilizadas para su análisis y, con ello, la representatividad de la población. Además, en una segunda fase, se debería extender el estudio a bosques o estratos ubicados en otras situaciones geográficas, para poder establecer si existe similitud en las características nutritivas estudiadas o poder describir las diferencias encontradas. Esto daría mayor importancia a la información entregada por este trabajo, al contar con un complemento que permita extender su aplicabilidad a bosques en otras localidades o determinar si es propio y exclusivo del lugar analizado.

5. Conclusiones

- Laurel presenta mayores contenidos de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio que coigüe. Coigüe presenta mayores contenidos de calcio, salvo en la masa foliar. Esto demuestra que las especies presentan exigencias y conductas diferentes.
- En ambas especies, los mayores contenidos de los cuatro elementos se encontraron en las hojas, excepto calcio en el coigüe, cuyos valores son mayores en la corteza y las ramas muertas.
- Se observa una gradación de mayores a menores contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio conforme a la actividad de los tejidos, en el siguiente orden: hojas, corteza, ramillas, ramas vivas, madera y ramas muertas. Esta tendencia es menos clara en coigüe. Calcio, presenta valores más homogéneos entre los componentes.
- Los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo y potasio presentan valores promedio de contenido mayores en el tercio superior de la copa o tronco, en la sección de mayor proporción de tejidos vivos. La excepción es calcio, que presenta mayores contenidos en el tercio inferior.
- Las cantidades de elementos nutritivos acumuladas en el vuelo del estrato de DAP entre 5 y 20 cm expandidas a la hectárea, son de 191 kg/ha de nitrógeno, 12,4 kg/ha de fósforo, 108 kg/ha de potasio y 101 kg/ha de calcio, en el supuesto que ocupan el 100% del área estudiada. Por la estructura actual del rodal, sin embargo, sólo ocupan un 43% de la superficie.
- Nitrógeno se encuentran en un 98% en el suelo (hasta 1 m de profundidad) y el porcentaje restante con 164 kg/ha en el mantillo y 82 kg/ha en el estrato arbóreo de entre 5 y 20 cm de DAP. Fósforo se encuentra en un 98% del total en el suelo (fracción disponible y reserva suministrable); el estrato arbóreo mencionado contiene 5,3 kg/ha y el mantillo 11 kg/ha. Potasio y calcio presentan, cada uno, alrededor de un 84% del total del sistema en el suelo. Potasio se distribuye con 46,4 kg/ha en la parte aérea y 10,3 kg/ha en el mantillo. Calcio presenta 43,6 kg/ha en los árboles y 116 kg/ha en el mantillo. Además, la hojarasca aporta anualmente un promedio de 75 kg/ha de nitrógeno, 4,4 kg/ha de fósforo, 13 kg/ha de potasio y 53 kg/ha de calcio.
- A partir de estudios en plantaciones de eucalipto nitens en Fresia, se observa que éste presenta valores promedio de contenido de los elementos nitrógeno y fósforo intermedios respecto a los de coigüe y laurel. Los niveles de potasio y calcio del eucalipto superan a los de las especies nativas, salvo a los niveles de calcio en la madera del coigüe y a los de potasio en las hojas de laurel.
- La acumulación anual efectiva por hectárea de elementos nutritivos en una plantación de eucalipto de 4 años de edad, es alrededor de 10 veces superior en nitrógeno, fósforo y potasio, y 20 veces mayor en calcio que en el estrato arbóreo nativo.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J.L. 2001. Rendimiento y Biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Magíster en Ciencias. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 170 p.
- Becker, H. 1981. Estudio de producción de *litter* en bosques latifoliados del sur de Chile. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 184 p.
- Besoain, E. 1985. Los Suelos. Capítulo 1. *In*: INIA. Suelos volcánicos de Chile. Primera ed. Santiago, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. pp. 25-95.
- Burschel, P. y Huss, J. 1997. Grundriss des Waldbaus. Segunda ed. Berlin (Alemania), Blackwell Wissenschafts-Verlag 487 p.
- Caldentey, J. 1992. Acumulación de nutrientes en rodales naturales de Lenga (*Nothofagus pumilio*) en Magallanes, Chile. *Cs. Forestales* 8(1-2): 19-25.
- CIREN. 1999. Descripciones de Suelos: Materiales y símbolos. Estudio agrológico de la Provincia de Valdivia – X Región. Santiago, CIREN. 326 p.
- 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. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 104 p.
- Correa, G. 1991. Distribución de elementos nutritivos en el follaje de *E. regnans* F. Muell y *E. delegatensis* R.T. Baker en un sitio de la provincia de Valdivia. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 63 p.
- Donoso, C. 1981. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. Santiago. 369 p.
- Düsterhöft, H. 2003. Biomasse eines Mischwaldbestandes in Valdivia, Chile. Tesis Tec. For. Göttingen (Alemania), Fachhochschule Hildesheim/Holzminde. 72 p.
- Finck, A. 1969. Pflanzenernährung in Stichworten. Verlag Ferdinand Hirt. Kiel, Alemania. 200 p.
- Fuenzalida, H. 1966. Climatología. Capítulo 3. *In*: CORFO. Geografía Económica de Chile, primer apéndice. Santiago. pp. 31-44.
- Guarda, G. 2001. Nueva historia de Valdivia. Santiago, Universidad Católica de Chile. 862 p.

- Huber, H. 1995. El Arboretum de la Universidad Austral de Chile: área de investigación y educación forestal. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 71 p.
- Hueck, K. 1978. Los Bosques de Sudamérica; Ecología, composición e importancia económica. Trad. Por Ronald Brun. Alemania, GTZ. 475 p.
- Salazar, M. 1998. Aporte y velocidad de descomposición de la hojarasca en un bosque de Lenga, Antillanca. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 93 p.
- Scheffer, F; Schachtschabel, P.1982. Lehrbuch der Bodenkunde. 11 ed. Stuttgart, Enke. 441 p.
- Schlatter, J. 1996. Demanda Nutritiva. Apuntes de clase de Nutrición y Manejo de Suelos Forestales. Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. Valdivia. 3 p.
- Schlatter, J.; Grez, R. y Gerding, V. 2003. Manual para el reconocimiento de Suelos. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 114 p.
- Schütt, P.; Schuck, H.J. y Stimm, B. 1992. Lexikon der Forstbotanik. Morphologie, Pathologie, Ökologie und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten. Landsberg/Lech, Ecomed. 581 p.
- Vömel, A. 1966. Nutrient balance in various lysimeter soils. I. Water leaching and nutrient balance. Z. Acker- u. Pflanzenbau (123): 155-188.
- Von Bauer, P. 1960. Silvicultura en el Sur de Chile; Investigaciones ecológicas y experiencias recogidas en una forestación en La Ensenada (Prov. de Llanquihue). Bonn, Geographischer Institut der Universität Bonn, Ferd. Dümmlers Verlag Bonn. 110 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract

Abstract

This study is an approximation to the nutritional dynamic of a natural forest stand placed in the Arboretum of the Universidad Austral de Chile in Valdivia, Chile. The analysed tree layer is composed by eight species with a diameter at breast height between 5 and 20 cm. The main objective is to evaluate the contents, the quantity and the distribution of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in different components of the ecosystem.

Düsterhöft (2003), made a study about the biomass on this forest. He took samples of different parts of the ecosystem, which were chemically analysed at the Laboratory for Tree Nutrition and Forest Soils, Forest Faculty, Universidad Austral de Chile. This authors work and the results of the chemical analysis, are the base of the present study.

The studied forest suffered under intense extraction until 1972, when the area was closed to human and animal transit by a fence. Since that period, the plants recovered the possibility to regenerate naturally. In 1975 and 1979, the foresters planted some species, creating a understory of natural and planted regeneration.

The results show that generally, *Laurelia sempervirens* needs a higher level of nutrients than *Nothofagus dombeyi* and that the values of nutrient contents present a gradient in the components of the tree, in order to the activity of each one. So, leaves presents the higher values, followed by branches and the bark. Also, the contents of nutrients showed gradients according to the position in the crown.

The actually quantity of nutrients in the system indicates that the trees of the understory grow without stress. Besides, the coerture of bigger trees give them protection and the possibility to regulate their growth under regulated conditions of temperature and light.

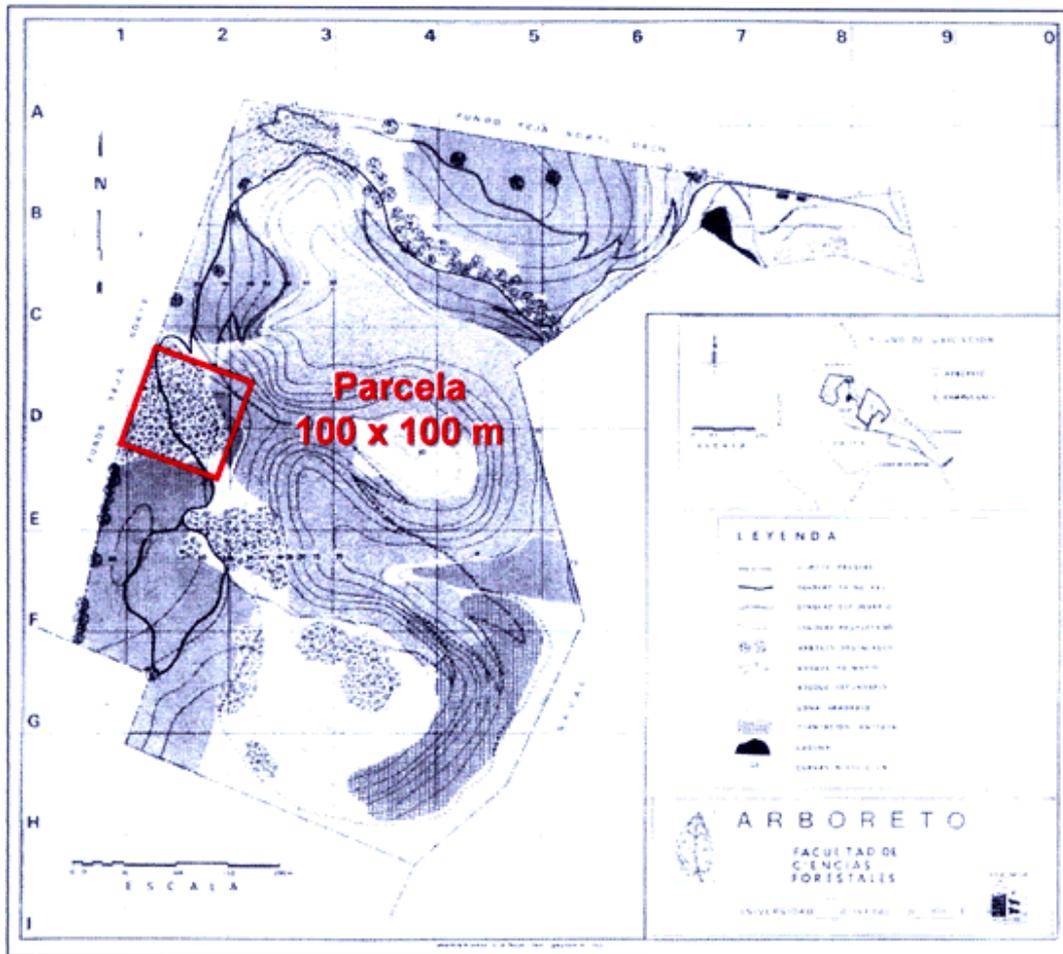
The annual absorption values per hectare of the natural stand are 10 to 20 times smaller than the values of a compared eucalyptus plantation. So it is possible to explain the need of the plantation to be fertilized to maintain an optimal yield. The natural forest can be handled, dosing the space and incoming light, so the trees can regulate their growth according to the availability of resources.

Keywords: native forest, biomass, nutrients, nutritive balance.

Anexo 2

Ubicación de la parcela en el *Arboretum*

Ubicación de la parcela en el Arboretum



Modificado de Düsterhöft (2003)

Escala aproximada: 1:6.000.

Anexo 3

Censo de la parcela (1 ha) y nombres científicos

Censo de la parcela (1 ha)

Frecuencia (N/ha)

DAP (cm)	Ap	Ec	Ga	La	Lp	Ls	My	Nd	No	Pa	Pl	Ps	AM	Total
05-10	18	42	29	200	21	139	14	44	55	7	1	13	3	586
10-15	6	8	8	4	11	82		23	17	1			1	161
15-20	1	3	2		1	22		5	13	1		1		49
20-25	1		2			8		5	3					19
25-30	2			2				2	9					15
30-35	2			1				2	4					9
35-40	4	1		1				3	2					11
40-45	14	2	1	2				2	2					23
45-50	17	1						1	3					22
50-55	8	1							8					17
55-60	9	1							5					15
60-65	4							1	4					9
65-70	1	1							4				1	7
70-75	1								3				1	5
75-80	1								7					8
80-85	1								3					4
85-90	1												1	2
90-95								3	2					5
95-100	1							1	1					3
100-105								1						1
105-110								1						1
110-115	1								1					2
115-120								1						1
120-125														0
125-130								1						1
130-135								1	1					2
135-140														0
140-145														0
145-150														0
150-155														0
155-160														0
160-165								1						1
Total	93	60	42	210	33	251	14	98	147	9	1	14	7	979

Abreviación

Nombre científico

Nombre común

Ap:	<i>Aextoxicon punctatum</i>	Olivillo
Ec:	<i>Eucryphia cordifolia</i>	Ulmo
Ga:	<i>Gevuina avellana</i>	Avellano
La:	<i>Luma apiculata</i>	Arrayán
Lp:	<i>Laurelia philippiana</i>	Tepa
Ls:	<i>Lauerlia sempervirens</i>	Laurel
My:	<i>Myrtaceae</i> spp.	Mirtáceas
Nd:	<i>Nothofagus dombeyi</i>	Coigüe
No:	<i>Nothofagus obliqua</i>	Roble
Pa:	<i>Podocarpus andinus</i>	Lleuque
Pl:	<i>Persea lingue</i>	Lingue
Ps:	<i>Podocarpus salignus</i>	Mañío de hojas largas
AM:		Árboles muertos

Anexo 4

Contenidos de elementos nutritivos en árboles promedio de coigüe y laurel

Contenidos de elementos en árboles promedio de coigüe y laurel.

N. dombeyi

DAP = 5 a 20 cm

Componente	Sección	Biomasa (Kg)	Contenido nutrientes (%)				Cantidad nutrientes (g)			
			N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
Hojas N= 6	Inferior	0,53	1,40	0,08	0,36	0,53	7,50	0,42	1,99	2,85
	Medio	2,84	1,42	0,09	0,40	0,49	39,85	2,55	12,40	13,67
	Superior	1,45	1,48	0,09	0,41	0,48	21,08	1,31	6,34	6,96
Ramillas N= 6	Inferior	1,99	0,40	0,01	0,10	0,33	7,86	0,20	1,97	6,72
	Medio	5,15	0,46	0,02	0,19	0,39	20,49	1,05	10,72	18,29
	Superior	2,68	0,62	0,05	0,26	0,51	16,18	1,33	7,20	14,80
Ramas verdes N= 6	Inferior	3,13	0,33	0,01	0,08	0,31	10,33	0,31	2,50	9,70
	Medio	4,51	0,35	0,01	0,14	0,30	14,90	0,45	6,31	12,65
	Superior	1,93	0,62	0,02	0,23	0,27	11,97	0,39	4,44	5,21
ramas muertas N= 5	Inferior	0,70	0,40	0,01	0,05	0,54	2,78	0,07	0,41	4,07
	Medio	0,56	0,40	0,01	0,06	0,59	2,24	0,06	0,34	3,30
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Frutos / Flores N= 0	Tronco	1,32	0,36	0,01	0,03	0,47	4,52	0,13	0,40	6,41
	Inferior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madera N= 5	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fuste		0,37	0,02	0,13	0,29	87,01	3,25	26,76	26,99
	Corteza N= 5		0,47	0,02	0,14	0,57	16,63	0,79	5,29	23,18

L. sempervirens

DAP = 5 a 20 cm

Componente	Sección	Biomasa (Kg)	Contenido nutrientes (%)				Cantidad nutrientes (g)			
			N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
Hojas N= 12	Inferior	0,52	1,98	0,19	0,92	0,94	9,24	1,03	4,05	4,58
	Medio	0,86	1,88	0,17	0,87	0,84	14,89	1,45	6,68	6,88
	Superior	0,84	1,98	0,17	0,86	0,70	16,07	1,40	6,61	5,23
Ramillas N= 12	Inferior	1,02	0,50	0,04	0,31	0,20	5,23	0,47	2,80	2,02
	Medio	1,23	0,64	0,06	0,40	0,24	8,24	0,81	5,21	3,18
	Superior	0,80	0,84	0,09	0,52	0,24	6,48	0,68	3,80	1,75
Ramas verdes N= 12	Inferior	2,32	0,39	0,03	0,23	0,16	9,15	0,84	4,71	4,08
	Medio	0,95	0,43	0,04	0,25	0,14	4,00	0,37	2,25	1,56
	Superior	0,29	0,49	0,04	0,31	0,12	1,41	0,12	0,86	0,34
ramas muertas N= 11	Inferior	0,49	0,38	0,02	0,10	0,24	1,90	0,11	0,57	1,14
	Medio	0,25	0,38	0,02	0,11	0,23	0,97	0,06	0,31	0,56
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Frutos / Flores N= 0	Tronco	1,63	0,44	0,01	0,05	0,22	8,64	0,29	0,93	3,79
	Inferior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madera N= 11	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fuste		0,34	0,01	0,15	0,04	39,26	1,78	20,93	5,88
	Corteza N= 11		0,98	0,08	0,77	0,51	20,25	1,38	13,07	6,70

Anexo 5

Cantidad de elementos nutritivos según sección del ecosistema

Cantidad de elementos nutritivos para estrato nativo de entre 5 y 20 cm de DAP en cobertura real y expandidos a la hectárea, según sección del ecosistema

Sección ecosistema		Cantidad por elemento				Cantidad por elemento			
		N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
Aérea	Especie	kg/cobertura real				kg/ha			
	Coigüe	12,9	0,5	4,1	7,0	30,0	1,3	9,7	16,3
	Laurel	27,5	1,9	14,8	8,7	63,9	4,4	34,5	20,2
	Tepa	4,2	0,2	1,0	1,4	9,9	0,5	2,4	3,3
	Olivillo	2,1	0,1	1,5	2,2	5,0	0,4	3,6	5,3
	Roble	13,5	1,0	5,5	7,7	31,4	2,4	12,9	18,1
	Arrayán	16,3	1,0	15,1	12,9	38,1	2,3	35,2	30,0
	Avellano	2,3	0,1	2,2	1,3	5,3	0,3	5,1	3,0
	Ulmo	3,1	0,2	1,8	2,1	7,3	0,5	4,1	5,0
	TOTAL	82,2	5,3	46,4	43,6	191,2	12,4	107,9	101,4
Superficie		kg/ha				kg/ha			
	Mantillo	155,2	10,4	9,7	109,3	155,2	10,4	9,7	109,3
Subterránea	Suelo (Hz)	kg/ha				kg/ha			
Fracción Disponible	Ah	1218,3	0,7	29,0	98,5	1218,3	0,7	29,0	98,5
	A	1876,8	0,7	34,8	22,4	1876,8	0,7	34,8	22,4
	AB	4131	1,2	33,6	27,5	4131,0	1,2	33,6	27,5
	BA	2764,8	2,3	14,5	14,5	2764,8	2,3	14,5	14,5
	B1	1757,8	1,7	5,5	10,3	1757,8	1,7	5,5	10,3
	B2	3921,6	7,3	24,5	51,4	3921,6	7,3	24,5	51,4
	TOTAL	15670,3	14,2	142,2	225,0	15670	14,2	142,3	225,0
Subterránea	Suelo (Hz)	kg/ha				kg/ha			
Reserva suministrable	Ah	1218,3	-	-	-	1218,3	-	-	-
	A	1876,8	95,8	96,4	141,3	1876,8	95,8	96,4	141,3
	AB	4131,0	267,7	72,0	261,6	4131,0	267,7	72,0	261,6
	BA	2764,8	228,1	41,6	129,7	2764,8	228,1	41,6	129,7
	B1	1757,8	223,7	29,9	67,2	1757,8	223,7	29,9	67,2
	B2	3921,6	539,2	79,6	185,7	3921,6	539,2	79,6	185,7
	TOTAL	15670,3	1354,6	319,8	785,8	15670,3	1354,6	319,8	785,8

Anexo 6

Propiedades físicas del suelo

Propiedades físicas del suelo (según Düsterhöft, 2003)

Horizonte	Profundidad (cm)	Dens.ap. g/cm ³	Porcentaje Humus (%)	Arcilla (%) *	Limo (%) *	Arena (%) *
Ah	0-3	0,31	30,8	20	65	15
A	3-9	0,34	21,8	20	65	15
AB	9-24	0,51	14,0	30	55	15
BA	24-40	0,48	9,0	20	65	15
B ₁	40-57	0,47	4,4	20	75	5
B ₂	57-100	0,57	2,9	30	65	5
C	> 100	-	-	-	-	-

* Composición textural obtenida desde el triángulo de textura, luego de su determinación en terreno (al tacto)

Capacidad de agua aprovechable = 240,5 mm en 100 cm de profundidad.

Profundidad de arraigamiento = 100 cm.

Pedregosidad < 1% (muy baja).

Porcentaje medio de poros = 80%.

Anexo 7

Resultados estadísticos de comparación entre valores de contenido de elementos nutritivos en las tres clases diamétricas

Coigüe N= 3		Media (%)				C.V. (%)			
		N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
Hojas	Inferior	1,385	0,080	0,345	0,525	2,53	0,00	10,14	2,86
	Medio	1,425	0,085	0,380	0,490	1,75	5,88	15,79	2,04
	Superior	1,500	0,090	0,395	0,475	3,33	0,00	11,39	1,05
Ramillas	Inferior	0,410	0,010	0,095	0,325	4,88	0,00	5,26	4,62
	Medio	0,490	0,025	0,185	0,415	20,41	20,00	13,51	15,66
	Superior	0,630	0,045	0,255	0,480	4,76	11,11	5,88	16,67
Ramas verdes	Inferior	0,330	0,010	0,080	0,310	0,00	0,00	0,00	0,00
	Medio	0,365	0,010	0,135	0,315	9,59	0,00	3,70	11,11
	Superior	0,620	0,020	0,230	0,270	0,00	0,00	0,00	0,00
Ramas muertas	Inferior	0,395	0,010	0,045	0,515	1,27	0,00	33,33	14,56
	Medio	0,400	0,010	0,060	0,590	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tronco	0,365	0,010	0,030	0,465	6,85	0,00	0,00	5,38
Frutos / Flores	Inferior	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-
Madera (0-3m)	Fuste	0,330	0,010	0,065	0,060	18,18	0,00	7,69	0,00
Madera (3-6m)	Fuste	0,285	0,010	0,085	0,080	5,26	0,00	5,88	0,00
Madera (6 y + m)	Fuste	-	-	-	-	-	-	-	-
Corteza (0-3m)	Fuste	0,467	0,023	0,182	0,668	0,00	0,00	8,26	27,68
Corteza (3-6m)	Fuste	0,637	0,033	0,203	0,747	21,99	30,00	19,67	0,00
Corteza (6 y + m)	Fuste	-	-	-	-	-	-	-	-

Laurel N= 3		Media (%)				C.V. (%)			
		N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
Hojas	Inferior	1,955	0,192	0,898	0,958	11,54	5,43	17,81	27,22
	Medio	1,825	0,168	0,850	0,858	15,47	1,71	21,18	23,03
	Superior	1,972	0,165	0,840	0,713	7,45	5,25	14,43	31,79
Ramillas	Inferior	0,500	0,045	0,310	0,208	5,29	11,11	25,19	20,41
	Medio	0,635	0,060	0,382	0,248	15,81	28,87	34,72	18,71
	Superior	0,838	0,085	0,503	0,240	9,47	15,56	25,16	22,05
Ramas verdes	Inferior	0,393	0,033	0,220	0,165	2,40	28,28	25,71	21,43
	Medio	0,432	0,038	0,262	0,150	1,77	7,53	17,34	24,04
	Superior	0,482	0,042	0,298	0,128	7,65	6,93	11,41	15,75
ramas muertas	Inferior	0,380	0,020	0,103	0,238	2,63	50,00	44,70	20,38
	Medio	0,380	0,020	0,103	0,238	2,63	50,00	44,70	20,38
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tronco	0,475	0,015	0,053	0,223	28,28	47,14	20,20	11,12
Frutos / Flores	Inferior	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
	Superior	-	-	-	-	-	-	-	-
Madera (0-5m)	Fuste	0,441	0,017	0,216	0,103	71,15	69,28	61,42	110,0
Madera (5-10m)	Fuste	0,377	0,023	0,246	0,106	50,38	65,47	72,98	99,48
Madera (10 y + m)	Fuste	0,300	0,030	0,190	0,040	0,00	0,00	0,00	0,00
Corteza (0-5m)	Fuste	0,852	0,058	0,634	0,474	12,72	13,09	17,48	21,31
Corteza (5-10m)	Fuste	0,893	0,080	0,722	0,449	17,67	21,65	20,98	9,04
Corteza (10 y + m)	Fuste	1,100	0,100	0,590	0,530	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo 8

Proporciones de cantidad de biomasa y nitrógeno en copa y fuste

Proporciones de cantidad de biomasa y nitrógeno en copa y fuste de coigüe y laurel de entre 24 y 29 años de edad en un bosque del tipo Roble-Raulí-Coigüe, subtipo Remanentes Originales, y eucalipto nitens de 4 años de edad, de similar dimensión de desarrollo (altura y diámetro) como cultivo forestal.

