



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Respuesta inicial de una plantación de *Nothofagus dombeyi*  
(MIRB) OERST a distintas dosis de fertilizante, en la  
Precordillera de la Costa de Valdivia

Patrocinante: Sr. Pablo Donoso H.

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

**CARLOS ANTONIO BÜCHNER ASENJO**

**VALDIVIA**

**2007**

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Pablo Donoso	_____
Informante:	Sr. Juan Schlatter	_____
Informante:	Sr. Daniel Soto	_____

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. Pablo Donoso.

## **AGRADECIMIENTOS**

A través de las siguientes líneas, quisiera testimoniar mi aprecio y gratitud a todas aquellas personas, que de una u otra forma, colaboraron para que este trabajo llegara a feliz término.

A mi familia por todos los esfuerzos y sacrificios que realizaron para que pudiera cumplir con mi objetivo trazado. También por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos en la vida.

A mi profesor patrocinante que confió en mí, Sr. Pablo Donoso agradezco sinceramente, su constante apoyo, paciencia y preocupación, en el desarrollo de este trabajo, que al final dio sus frutos, aportando al conocimiento. Gracias por darme la oportunidad de realizar esta investigación.

De igual forma deseo expresar mi agradecimiento a mí profesor informante, Sr. Juan Schlatter, por su apoyo, entusiasmo y la constante ayuda brindada en la recopilación de la información en terreno, procesamiento y elaboración de este trabajo, siendo fundamentales para su concreción.

También agradezco al Sr. Daniel Soto, informante en este trabajo de investigación realizado en su predio, por su amistad, colaboración, ayuda, tanto en la recopilación de la información en terreno, procesamiento, aportando valiosas observaciones y correcciones, además de agradecer a su familia por las atenciones realizadas en su hogar.

A mis amigos de la vida y compañeros de la Universidad, por entregarme su apoyo, amistad y alegría. No necesito nombrarlos porque tanto ellas u ellos como yo, sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad todos estos años. También agradezco a Dios por la oportunidad que he tenido de aprender, mejorar y de crecer junto a personas tan especiales para mí. Sinceramente muchas gracias.

## DEDICATORIA

*Esta tesis esta dedicada a mi padre Carlos que ya no se encuentra conmigo y que desde el cielo comparte mis logros y satisfacciones y a mi madre Carmen, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, sacrificio, cariño y comprensión. En todo momento los llevo conmigo.*

*A mis hermanos Michel y Claudia por la compañía y el apoyo que me brindan. Se que cuento con ellos siempre. Y a mi abuela por su sacrificio y cariño.*

*Finalmente doy gracias a Dios por acompañarme en todo momento y darme la sabiduría y tranquilidad para tener un buen pasar en la Universidad y la vida.*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Nutrición mineral	3
2.2 Fertilización	3
2.3 Respuesta de los árboles a una fertilización	5
2.4 Características de los suelos rojo arcillosos, serie Los Ulmos	6
2.5 Antecedentes generales de plantaciones de <i>Nothofagus dombeyi</i>	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Antecedentes del área de estudio	8
3.1.1 Clima	8
3.1.2 Suelos	8
3.1.3 Uso anterior del suelo	9
3.2 Método	9
3.2.1 Plantas empleadas	9
3.2.2 Labores culturales	9
3.2.3 Diseño experimental	9
3.2.4 Método de aplicación del fertilizante	10
3.2.5 Medición de las variables	11
3.2.6 Diagnóstico nutritivo	12
3.2.7 Análisis morfológico	12
3.2.8 Análisis de suelo	12
3.2.9 Análisis estadístico	13
4. RESULTADOS	14
4.1 Análisis químico del suelo	14
4.2 Supervivencia de las plantas	15
4.3 Desarrollo de la altura, diámetro a la altura del cuello y factor de productividad de las plantas	17

4.3.1	Incremento del diámetro a la altura del cuello	17
4.3.2	Incremento en altura total	17
4.3.3	Factor de productividad	18
4.4	Análisis foliar	19
4.5	Análisis morfológico	20
4.6	Calidad de las plantas	22
4.6.1	Sanidad	22
4.6.2	Forma	23
5.	DISCUSIÓN	24
5.1	Análisis de suelo	24
5.2	Sobrevivencia	24
5.3	Desarrollo de la altura, diámetro a la altura del cuello y factor de productividad de las plantas	26
5.4	Análisis foliar	27
5.5	Análisis morfológico	28
5.6	Calidad	29
6.	CONCLUSIONES	30
7.	BIBLIOGRAFIA	31
	ANEXOS	34
1	<i>Abstract</i>	
2	Resultados promedios por tratamiento de incremento en diámetro a la altura del cuello, incremento en altura total, factor de productividad y sobrevivencia de las plantas de <i>Nothofagus dombeyi</i> por bloque	
3	Atributos de calidad para calificación de plantas de <i>Nothofagus dombeyi</i> en establecimiento	
4	Resultados del análisis químico del suelo por bloque	

- 5 Resultados del análisis químico foliar de las plantas de *Nothofagus dombeyi*
- 6 Cuadro resumen de los análisis morfológicos por tratamiento realizado a las plantas de *Nothofagus dombeyi*

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química de los fertilizantes empleados en la mezcla	11
Cuadro 2. Evaluación de los atributos de la sanidad en plantas de <i>Nothofagus dombeyi</i> de un año de edad	23
Cuadro 3. Evaluación de los atributos de la forma en plantas de <i>Nothofagus dombeyi</i> de un año de edad	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Demanda de elementos nutritivos desde el suelo	5
Figura 2. Esquema del diseño de los bloques	10
Figura 3. Resultados del análisis químico del suelo	15
Figura 4. Porcentaje promedio de sobrevivencia	16
Figura 5. Comparación de los promedios por tratamiento para la variable incremento anual en DAC	17
Figura 6. Comparación de los promedios por tratamiento para la variable incremento anual en AT	18
Figura 7. Comparación de los promedios por tratamiento para el FP	19
Figura 8. Resultados del análisis foliar realizado a las plantas de <i>Nothofagus dombeyi</i> por elemento	20
Figura 9. Comparación de medias para las variables morfológicas por tratamiento	22



## RESUMEN EJECUTIVO

Una prueba de diferentes dosis de fertilización N – P – K (10 – 30 – 10) se aplicó a una plantación de *Nothofagus dombeyi* (MIRB) OERST en la zona costera de Valdivia, sobre suelo rojo arcilloso previamente utilizado para la ganadería. El objetivo del estudio fue evaluar el desarrollo de una plantación de *N. dombeyi* con tres dosis de fertilizante y una sin fertilizante luego de la primera temporada de crecimiento. El diseño utilizado fue en bloques al azar, con tres repeticiones por tratamiento, con cuatro tratamientos de fertilización de veinte plantas cada uno. El tratamiento 1 (T50) correspondió a 50 g por planta, tratamiento 2 (T100) con 100 g por planta, tratamiento 3 (T150) con 150 g por planta y un tratamiento testigo (TT) sin fertilizante. No se aplicó control de maleza en la plantación.

El propósito del estudio fue evaluar el efecto de la fertilización, en la mortalidad, crecimiento y calidad de la plantación.

La aplicación de las distintas dosis del fertilizante fue un factor determinante en la sobrevivencia de las plantas, ya que los tratamientos de 50 g y de 100 g presentaron los porcentajes de sobrevivencia más altos con 86,6 % y 96,5 % cada uno, demostrando diferencias significativas con los tratamientos testigo (75 %) y el tratamiento de 150 g (80 %). Los mayores crecimientos presentados por los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) tanto en, diámetro altura del cuello (85,7 % superior sobre el testigo), altura total (63,1 % superior sobre el testigo) y factor de productividad de las plantas (159,7 % superior sobre el testigo), pueden ser explicados al solucionar la deficiencia de algunos elementos en el suelo y también balancear otros, lo que mejoró el continuo abastecimiento de nutrientes desde el suelo a las plantas. La fertilización también modificó la morfología de las plantas, aumentando la cantidad de tejido y biomasa debido a que el fertilizante permitió a las plantas desarrollarse a una capacidad fisiológica mayor. Con respecto a la sanidad de las plantas, estas presentaron en los tratamientos de 50 g y de 100 g un éxito en su establecimiento lo que se tradujo en plantas más vigorosas y menos propensas a posibles ataques de agentes bióticos y abióticos en esta etapa de desarrollo. Algunas bifurcaciones observadas en las plantas, se debe al habito de crecimiento que presenta *N. dombeyi*, y la fertilización parece no afectar la forma del árbol.

**Palabras clave:** Crecimiento en altura, crecimiento en diámetro, productividad inicial de la plantación, mortalidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

*Nothofagus dombeyi* (MIRB) OERST es una de las especies del bosque nativo más promisorias para plantaciones en las regiones templadas del sur de Chile (Loewe, 1998). La especie tiene un alto potencial de crecimiento, calidad de madera y diversidad de usos potenciales (Loewe, 1998). Es una especie intolerante, pionera en lugares donde se ha removido la vegetación original, desarrollándose en una gran variedad de sitios (Veblen, 1979), es decir, es una especie muy plástica, lo que la hace atractiva para reforestar terrenos abiertos por la agricultura o rehabilitar bosques nativos (Loewe, 1998).

El éxito de una plantación está fuertemente influenciado por la capacidad de establecerse y tener un buen crecimiento inicial, que le permitirá a la planta generar un buen sistema radicular y foliar (Binkley, 1993). Debido a esto, las técnicas de establecimiento de una plantación (tipo de planta, época de plantación, densidad, fertilización, biocidas, desmalezado, etc.), cobran gran relevancia, ya que determinarán el desarrollo inicial y posterior éxito de la plantación (Donoso *et al.*, 1999).

Muchas veces el suelo que se desea plantar presenta un déficit nutritivo debido a deficiencias nutricionales propias de este o que han estado expuestos a una agricultura extractiva, caracterizados por cosechas sucesivas. La aplicación de fertilizantes en plantaciones es una práctica común, ya que es una herramienta de importancia para facilitar el establecimiento, acelerar el crecimiento y mejorar la productividad de la especie de cultivo. Una adecuada fertilización puede estimular el desarrollo de las raíces para una ocupación rápida del suelo, con lo que se aprovecha mejor el agua y los nutrientes (Prado, 1989). Como consecuencia se mejora la sobrevivencia, se supera antes la competencia interespecífica y se obtiene un rodal más uniforme y de mayor rendimiento al momento de la cosecha (Prado, 1989).

*Nothofagus dombeyi* es una especie de rápido crecimiento en los primeros años de su establecimiento. En esta primera etapa, los árboles producen principalmente tejido de alta demanda nutritiva como follaje, ramas nuevas y raíces finas, sin que se produzca un retorno hacia el suelo (Schlatter *et al.*, 2001). Una vez que el dosel del bosque se cierra, se inicia un reciclaje de nutrientes, que retorna elementos nutritivos al suelo en forma de hojarasca y raíces finas, lo que se traduce en una disminución de la extracción de elementos nutritivos por parte de los árboles desde las reservas del suelo. Sin embargo, muchas veces los suelos no pueden cubrir la demanda de tales elementos, lo que se traduce en plantas con deficiencias nutritivas, un porcentaje de sobrevivencia bajo y la presencia de malformaciones por la carencia de elementos nutritivos. Sin embargo, es necesario conocer la respuesta de la especie a la fertilización, ya que no se cuenta actualmente con datos concretos de crecimiento y el efecto del tratamiento según el tipo de suelo donde se establecerán las futuras plantaciones.

El objetivo general del presente estudio es evaluar el crecimiento de una plantación de *Nothofagus dombeyi* a raíz desnuda (1 / 1), a la que se le aplicaron diferentes dosis de un fertilizante mezclado N – P – K (10 – 30 – 10), en suelos rojo arcillosos de la Precordillera de la Costa de Valdivia, serie Los Ulmos.

Como objetivos específicos se pretende:

- Determinar el efecto de los diferentes tratamientos sobre la sobrevivencia
- Identificar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento.
- Evaluar el efecto sobre la calidad de las plantas de los tratamientos aplicados.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Nutrición mineral**

Las plantas como todo ser vivo, necesitan alimentarse para poder desarrollarse normalmente. Los nutrientes presentes en el suelo son su alimento y dentro de la gran variedad que se puede encontrar, existen los denominados nutrientes principales o macronutrientes que son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio. Estos, en conjunto con carbono, hidrógeno y oxígeno constituyen un 90 a 99 % del peso seco de las plantas; el resto lo constituyen los llamados nutrientes secundarios o micronutrientes como azufre, manganeso, hierro, zinc, cobre, boro, molibdeno y cloro (Gros, 1986).

La insuficiente disponibilidad de algunos elementos nutritivos en el suelo, puede afectar la sobrevivencia, el crecimiento y la calidad de las plantas, influyendo en el resultado final. Estas deficiencias se traducen también en modificaciones morfológicas o fisiológicas (Mazliak, 1976). Por esta razón, la nutrición mineral es muy importante en la fisiología de los árboles, ya que está en directa relación con el crecimiento de las plantas. Muchos investigadores han señalado la importancia de un adecuado y equilibrado suministro de elementos minerales para un próspero desarrollo (Jara, 1986).

Algunos elementos minerales favorecen el crecimiento de tejidos, órganos u organismos vegetales. Estos minerales esenciales son constituyentes obligados de la materia vegetal e intervienen comúnmente como integrantes de innumerables enzimas. Es decir, el suministro nutritivo a la planta es de condición obligada para una fisiología normal en desarrollo (Mazliak, 1976).

Cuando uno de los elementos nutritivos esenciales se encuentra en cantidades insuficientes o en combinaciones químicas que lo hacen poco disponible para la absorción, la deficiencia de este elemento nutritivo en las células de la planta trae trastornos en el metabolismo de ésta. Tales trastornos serán específicos, dependiendo del elemento nutritivo y de la especie, los cuales se manifiestan en síntomas visibles tales como crecimiento restringido, hojas amarillas o púrpuras o reducción del área foliar (Jara, 1986).

### **2.2 Fertilización**

En la naturaleza es frecuente que el suelo donde se desea reforestar o enriquecer un bosque presente insuficiencias nutritivas que limitarán el desarrollo de la futura plantación, las que pueden llegar a ser importantes en la etapa de establecimiento de muchas especies (Binkley, 1993). Con el fin de mejorar las condiciones naturales, se han desarrollado una serie de técnicas que actúan sobre los factores del sitio, para darle una cierta ventaja temporal a las plantas de interés (Daniel *et al.*, 1982). Una de las técnicas utilizadas en la actualidad para corregir tales deficiencias nutricionales es la fertilización (Binkley, 1993).

La fertilización tiene como objetivo aportar al suelo los nutrientes requeridos por la planta, en cantidad, proporción, forma química y en la zona precisa para evitar desequilibrios nutricionales que alteren el metabolismo de ésta, logrando un crecimiento adecuado (Toro, 1988). La fertilización en plantaciones forestales tiene una serie de ventajas como por ejemplo: permite una rápida expansión radicular, una temprana y mejor utilización de los recursos (agua y nutrientes) presentes en el suelo y una mejor sobrevivencia. Como consecuencia, las plantas sobrepasan la competencia en forma más rápida, disminuye el tiempo de establecimiento, el cierre de copas ocurre mas tempranamente, hay un mayor crecimiento del vástago de la madera y se acorta la edad de rotación (Villarroel, 2004).

El éxito de la fertilización depende de que el diagnóstico previo haya sido acertado, que la técnica de fertilización sea adecuada y el clima sea benigno. Importante también es la época de la aplicación de los fertilizantes, efectuándose sólo cuando exista agua en el suelo (Schlatter *et al.*, 2001). Entre las regiones VIII y IX es más oportuno hacerlo entre julio y agosto; en la X Región, puede fertilizarse también en septiembre. Otro aspecto importante es que la fertilización se aplique junto a un buen control de malezas, asegurando un mejor acceso al fertilizante por parte de las plantas. En caso contrario las malezas pueden competir aún más con la plantación, vigorizadas por el fertilizante (Schlatter *et al.*, 2001).

La fertilización puede ocurrir en distintas etapas de la plantación (Schlatter *et al.*, 2001). Como se puede observar en la figura 1, estas ocurren en determinados momentos cuando la plantación todavía tiene una edad relativamente joven para poder reaccionar a este estímulo eficientemente. La fertilización localizada al momento de plantar es para estimular el crecimiento y prevenir deficiencias nutritivas de las plantas, fórmula que se experimentó en el presente trabajo. La fertilización post-plantación, se considera del tipo correctiva, cuando cubre deficiencias nutricionales que pudieran presentar las plantas, lo cual se evalúa a través de síntomas visuales y verifica por un análisis foliar<sup>1</sup>. Pero, también puede ser del tipo productiva, cuando se justifique a partir de un análisis de suelo, cuando este no podrá abastecer la demanda de las plantas en crecimiento. La fertilización correctiva está dirigida a superar una anomalía y la productiva a estimular el crecimiento de raíces y vástago.

---

<sup>1</sup> Schlatter, J. 2004. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Apuntes de clases).

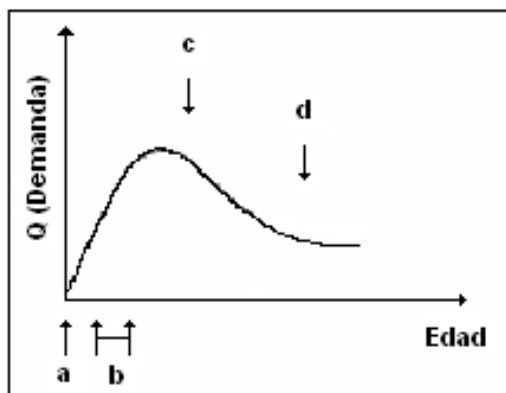


Figura 1. Demanda de elementos nutritivos desde el suelo en una plantación forestal y ocasiones de fertilización: a. Fertilización localizada al momento de plantar (de estímulo y/o preventiva); b. Fertilización productiva y/o correctiva (en la etapa de demanda creciente); c. Fertilización productiva con ocasión del raleo a desecho; d. Fertilización productiva con ocasión del raleo comercial. Fuente: Schlatter *et al.*, 2001.

La fertilización, puede ser evaluada a través del crecimiento que experimenta la plantación. Este crecimiento se determina a través de variables como: diámetro de cuello (DAC), altura de la planta, y sobrevivencia (Fresard, 2004). Es decir, para evaluar acertadamente el efecto de una fertilización se debe tener en cuenta, en primer lugar, cómo reaccionan los árboles a dicho estímulo.

### 2.3 Respuestas de algunas especies a la fertilización

La fertilización causa una serie de cambios en la fisiología del árbol, los que tienen como resultados un incremento volumétrico de las raíces, tallo o tronco y biomasa en general (Binkley, 1993). Según Gerding (1996), los árboles pueden reaccionar de tres maneras al incremento en la disponibilidad de nutrientes: aumento de la actividad fotosintética de las hojas que acompaña al incremento en el nivel de clorofila; redistribución de los productos de la fotosíntesis y expansión de la copa. El aumento de la concentración de elementos nutritivos en el follaje puede producir variaciones en la tasa de fotosíntesis de 10-30 %. Con frecuencia, los incrementos que se producen en el crecimiento con la fertilización son mucho mayores que el 30 % de modo que, en general, una mayor eficiencia fotosintética no explica completamente el incremento volumétrico. Sin embargo hay una buena relación entre el aumento del área foliar y el incremento del tronco (Binkley, 1993). Estudios realizados por el Canadian Forestry Service en torno a la respuesta de un rodal de *Pseudotsuga menziesii* a la fertilización, señalan que el crecimiento del fuste por unidad de área foliar (debido a los cambios en la fotosíntesis neta y a una alteración en la distribución de biomasa) representó casi una tercera parte de la respuesta a la fertilización. El incremento del área foliar representó la parte restante de la respuesta del crecimiento (Binkley, 1993). Respecto a la redistribución de la biomasa existen pocos ejemplos pero se conoce que cuando aumenta considerablemente la disponibilidad de nutrientes en el suelo (fertilización), las raíces, especialmente las finas, acumulan mucha menor proporción de biomasa

que el vuelo, dejando más carbohidratos para el crecimiento del tronco (Gerding y Grez, 1996).

Las especies más estudiadas en Chile sobre la respuesta que presentan a una fertilización son *Pinus radiata* y *Eucaliptos sp* (Schlatter *et al.*, 2001). Antecedentes sobre fertilización que se disponen a nivel nacional indican que en cultivos de *Pinus radiata* se logran incrementos de 10 – 70% y en *Eucaliptos sp* de 10 – 300% cuando se fertiliza al momento del establecimiento de la plantación. Escasos estudios en especies nativas como raulí y roble, indican que estas especies responden también positivamente a una fertilización con incrementos de 10-100%. Sin embargo, al igual que el *Pseudotsuga menziesii*, presentan una menor demanda anual de nutrientes (Schlatter *et al.*, 2001).

Estudios realizados por Jara (1986), determina la importancia de elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio en los primeros períodos vegetativos de *N. dombeyi*, le permitieron concluir que el nitrógeno es el elemento nutritivo más importante en el desarrollo de las plántulas de coihue, seguido de potasio y finalmente fósforo, el cual no influyó en gran medida en el crecimiento de la especie en esta etapa de desarrollo.

En otro estudio realizado por Grosse (1988), se determina que la aplicación de fertilizantes (N, P, K) en *N. obliqua* y *N. procera* aumentó el nivel de sobrevivencia en 17%, y el incremento en altura en un 70 % para raulí y en un 150 % para roble a campo abierto y en un 50 % para ambas especies bajo cobertura. En plantaciones de *N. dombeyi* fertilizadas, efectuadas en 1996, en la comuna de Panguipulli, hubo un incremento adicional en diámetro del 20 % en relación a las plantas no fertilizadas; en altura total el incremento adicional fue de 13,5 % en relación a la plantación no fertilizada<sup>2</sup>. Torres (1996) observó que la fertilización provocó mayores tasas de crecimiento en roble y coihue en áreas donde las plantas encontraron las condiciones más favorables de sitio. En cambio para raulí no se presentaron diferencias importantes entre las distintas dosis de fertilización.

#### **2.4 Características de los suelos rojo arcillosos, serie Los Ulmos**

La serie Los Ulmos es un miembro de la familia muy fina, haloística, métrica de los Tepic Paleudults (CIREN, 2001). Se encuentra en las comunas de Valdivia, Paillaco, La Unión y Corral. Corresponde a suelos profundos, rojo arcillosos, originados a partir de cenizas volcánicas antiguas depositadas sobre el complejo metamórfico de la costa, ubicado en la Cordillera de la Costa. En cuanto a su morfología, son suelos profundos de color pardo rojizo oscuro, en el matiz 5YR; de textura arcillosa y color rojo amarillento en el matiz 5YR en profundidad. Son suelos muy bien estructurados, poseen una alta porosidad total y por su buena estructura permiten una buena aireación y drenaje (CIREN, 2001).

---

<sup>2</sup> Datos sin publicar, Informe técnico UACH – CONAF, 2005.

Sin embargo en sus propiedades químicas presenta algunas limitantes, como por ejemplo que los niveles de potasio de intercambio y nitrógeno total son medios y disminuyen a niveles extremadamente bajos en profundidad. Los bajos niveles de fósforo son atribuidos a los altos niveles de aluminio y hierro extractable y a la presencia de alofán, provocando niveles de fijación de fósforo importantes (CIREN, 2001).

## **2.5 Antecedentes generales de plantaciones de *Nothofagus dombeyi***

El bosque nativo chileno está compuesto en su mayor parte por latifoliadas y representa un gran potencial maderero. Sin embargo, una de las debilidades actuales es su bajo volumen residual y mala calidad, producto de la falta de manejo y extracciones pasadas de los mejores árboles. Una de las especies más abundantes es *Nothofagus dombeyi*, que según (Loewe, 1998) abarca un área geográfica de 1.030.160 ha, y que se considera una especie de un crecimiento relativamente rápido, alcanzando en zonas favorables incrementos en diámetro que pueden llegar hasta 1 cm o más<sup>3</sup> anuales. En el área de distribución de esta especie hay superficies potenciales, tanto para lograr bosques productivos a través de la silvicultura de las masas boscosas actuales, como también para considerar opciones de reforestación, enriquecimiento o rehabilitación de bosques.

En la actualidad, según estadísticas del INFOR 2005, se han plantado 1.176 ha de *Nothofagus sp* a nivel país, de las cuáles el 50 % se han efectuado en la Décima región. Las especies más plantadas fueron *N. oblicua*, *N. nervosa* y *N. dombeyi*. En Chile las primeras plantaciones de *Nothofagus* se establecieron en 1952 en el fundo Quechumalal (Panguipulli, Valdivia) y en el fundo El Volcán (Pucón, Cautín), ambas en la Cordillera de Los Andes; y en 1957 en la Cordillera de la Costa (Donoso *et al.*, 1999). Los primeros antecedentes de crecimiento para plantaciones *N. dombeyi*, donde se obtuvieron incrementos medios en DAP de 2,0 cm / año para una plantación de 13 años con un espaciamiento de 1,5 x 1,5 m y un diámetro acumulado de 27,6 cm (Donoso *et al.*, 1999). Estudios también indican que *N. dombeyi*, presenta crecimientos que superan en general al de los de *N. nervosa* y *N. obliqua* (Donoso *et al.*, 1999), con crecimientos de 1,15 cm en diámetro, 0,96 m altura y 20,48 m<sup>3</sup> en volumen, en plantaciones de 15 años en la Cordillera de los Andes de Valdivia. En la Cordillera de la Costa de Valdivia Maurerira (1995) midió crecimientos medios anuales de 0,86 cm en diámetro, de 1,13 m en altura y de 11,91 m<sup>3</sup> en volumen para una plantación de 9 años con una densidad de plantación de 3.881 plantas por ha, y de 1,11 cm en diámetro, 1,17 m en altura y 9,04 m<sup>3</sup> en volumen para una plantación de la misma edad pero con 2.389 plantas por ha. Un aspecto interesante en las plantaciones de *N. dombeyi* establecidas en la Provincia de Valdivia, como las efectuadas en la Cordillera de la Costa y de los Andes con plantas a raíz desnuda, es que todas han mostrado tasas de crecimiento similares en altura, con valores anuales promedio en torno a 1 m (Donoso *et al.*, 1999).

---

<sup>3</sup> Datos sin publicar, Informe técnico UACH – CONAF, 2005.



### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Antecedentes del área de estudio

El predio se localiza en la precordillera de la Costa, propiedad de Carlos Soto, Rol 107 – 11, distante 30 km de la ciudad de Valdivia por el camino que une a ésta con Corral (39°58'LS, 73°20' LW). El ensayo se instaló a 80 m s.n.m., en una ladera de exposición noreste, con pendientes moderadas (5 a 30%), y de formas convexas, inmediato al sur del camino.

##### 3.1.1 *Clima*

El clima predominante es del tipo templado lluvioso con influencia mediterránea, según la clasificación de Di Castri y Hajek (1976). Uno de los rasgos de este clima son sus notables diferencias entre los meses de menor y mayor precipitación, pero, a pesar de ello, no se puede hablar de una estación seca (Fuenzalida, 1971). Según el mapa Agroclimático de Chile (Novoa *et al.*, 1989), el clima corresponde a clima marino cálido, específicamente al agroclima Valdivia. Su régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 12,2 °C, una máxima media del mes más cálido (enero) de 23,3 °C y una mínima del mes más frío (agosto) de 4,6 °C. La cercanía a las masas de agua (terrenos inundados, ríos y mar) disminuyen la ocurrencia de heladas, cuya frecuencia media anual, a nivel del suelo, es de 46 días al año (Huber, 1970). El periodo libre de heladas es de 5 meses, de noviembre a marzo (Novoa *et al.*, 1989). De acuerdo con la clasificación de Koeppen, la zona posee un clima Templado Lluvioso de Costa Occidental (Cfsd), caracterizado por un bajo rango de oscilación en las temperaturas debido a la influencia marina (Fuenzalida, 1971). Las precipitaciones, que ocurren durante todo el año (Huber, 1970), se concentran en un 70 % en los meses de otoño e invierno (Menzel, 1993) y existe una notable disminución en los meses de verano. Las precipitaciones anuales son de 2.000 a 2.500 mm. Las precipitaciones, a su vez, están asociadas a los vientos norte y oeste, predominantes en invierno, que en ocasiones provocan daños mecánicos a la vegetación (Huber, 1970).

##### 3.1.2 *Suelos*

El ensayo se desarrolló en suelos que pertenecen a la serie los Ulmos. Son suelos rojo arcillosos originados a partir de sedimentos eólicos antiguos depositados sobre material metamórfico tipo micaesquístico de la costa, moderadamente profundos a profundos y en general están bien estructurados. Las características físicas son consideradas buenas, se caracterizan por presentar colores pardo rojizos a lo largo de todo el perfil, de textura franco arcillosa a arcillosa, densidad aparente de media a alta y una gran capacidad de absorción y retención de agua (CIREN, 2001). Dentro de las características químicas, se clasifican como suelos ácidos, ricos en aluminio y hierro, lo que favorece la fijación de fósforo, pero menores que en el caso de los trumaos andinos (IREN-CORFO-UACH, 1978).

### 3.1.3 *Uso anterior del suelo*

La vegetación original del predio corresponde al tipo forestal siempreverde cuyas especies más abundantes fueron *Nothofagus dombeyi*, *Laurelia sempervirens*, *Dasyphyllum diacanthoides*, *Gevuina avellana* y *Persea lingue*. Esta vegetación nativa fue degradada en el pasado por los continuos floeos de las mejores especies. Una vez terminada la extracción del bosque original, el predio paso a ser ganadero de subsistencia, por lo cual, los primeros 20 cm del suelo estaban con evidencias de compactación y erosión laminar superficial<sup>4</sup>. Posteriormente fue semiabandonado, por cuarenta años, con lo cual fue invadido por malezas como Gramíneas, *Rubus constrictus*, *Digitalis purpurea*, *Lophosoria quadripinnata* y *Corynabutilon vitifolium*. También, en forma aislada, se encuentran algunas especies arbóreas como *Maytenus boaria*, *Laurelia sempervirens*, *Nothofagus dombeyi* y *Gevuina avellana*.

## 3.2 **Método**

### 3.2.1 *Plantas empleadas*

La plantación se realizó con plantas que fueron sembradas en la primera quincena de Octubre del 2003 a raíz desnuda (1 / 1), provenientes del vivero Bosques del Sur perteneciente al Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral de Chile. Las plantas seleccionadas para el ensayo, tenían aspecto sano y eran de buena calidad. Su diámetro promedio de cuello fue de 0,38 mm ( $\pm 0,06$  mm de desviación estándar) y su altura total media de 41,1 cm ( $\pm 9,7$  cm de desviación estándar).

### 3.2.2 *Labores culturales*

Respecto a las labores culturales, la preparación del suelo se realizó con tracción animal (bueyes), confeccionando surcos de 30 cm de profundidad en promedio para disminuir la compactación producida por el uso anterior, evitar en cierta medida la competencia con malezas en el primer año y mejorar la infiltración de agua. El surcado se hizo siguiendo las curvas de nivel. La plantación se realizó con una azahacha plantadora, a un espaciamiento de 2,5 x 2,5 m entre plantas, siendo la superficie de cada tratamiento de 187,5 m<sup>2</sup> y para el bloque de 750 m<sup>2</sup>. Respecto al control de maleza post-plantación no se aplicó ningún tratamiento.

### 3.2.3 *Diseño experimental*

La plantación se realizó la primera semana de agosto del 2004, después de despejar el terreno y de preparar el suelo. Simultáneamente se procedió a realizar una primera medición de DAC y altura total de las plantas en terreno. La fertilización se realizó una semana después de efectuada la plantación. De esta manera el ensayo quedó diseñado de la forma que se muestra en el esquema de la figura 2, en una superficie de 0,225 hectáreas.

---

<sup>4</sup> Daniel Soto, comunicación personal, 2005.

El diseño utilizado corresponde a uno de bloques completos al azar con tres repeticiones. Esto permitió abarcar la variabilidad del terreno, en el sentido que cada bloque representó una condición de ladera alta, ladera media y ladera media baja, manteniendo dentro de cada bloque la mayor uniformidad posible. En consecuencia, las posibles diferencias entre tratamientos deben atribuirse a un efecto de las diferentes dosis de fertilizante, y no a efectos topográficos (Anexo 2).

En cada bloque se establecieron cuatro tratamientos distintos de 20 plantas cada uno, incluyendo las plantas del borde. El tratamiento 1 (T50) corresponde a la dosis de 50 g por planta, tratamiento 2 (T100) a 100 g por planta, tratamiento 3 (T150) a 150 g por planta y tratamiento testigo (TT) sin fertilización. La ubicación topográfica del bloque 1 corresponde al sector de ladera alta de menor pendiente ( $< 15^\circ$ ), el bloque 2 se ubica en ladera media con una mayor pendiente ( $> 20^\circ$ ) al igual que el bloque 3 que se encuentra en ladera media baja, presentando el suelo en estos dos bloques (2 y 3) signos de erosión.

Respecto a la monumentación del ensayo, esta actividad consideró la instalación de un identificador (estaca de PVC) en cada parcela, con una codificación que señala el bloque y el tratamiento aplicado, junto a otras tres estacas que en su conjunto indican los límites de la parcela. Previo a la plantación se procedió a la protección del ensayo, el cual consistió en la instalación de cercos de cuatro hebras de alambre púa con maya rachel en la parte inferior para evitar el daño de animales menores.

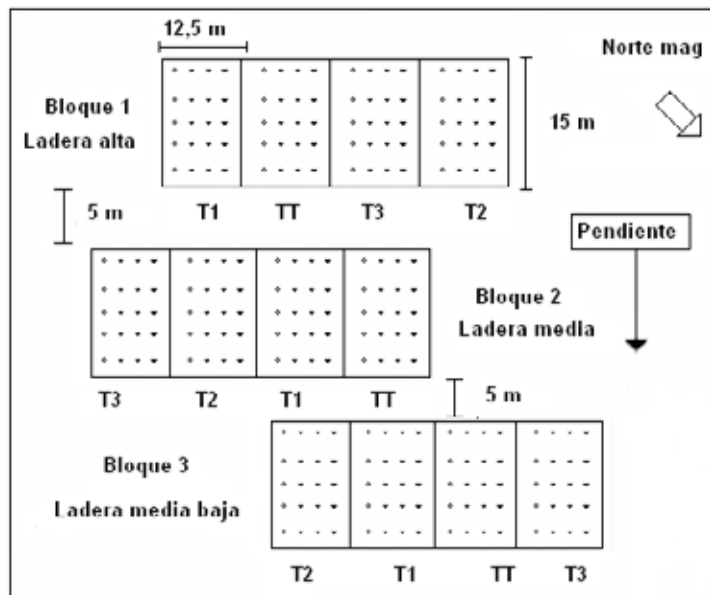


Figura 2. Esquema del diseño de los bloques.

### 3.2.4 Método de aplicación del fertilizante

El fertilizante se aplicó sobre el suelo en un semicírculo, a 15 cm del tallo de la planta, para las dosis de 50 y 100 g por planta y a 20 cm (para evitar toxicidad en la

planta) la dosis de 150 g por planta. Previamente se soltó ligeramente el suelo superficial.

Las dosis decididas para el ensayo<sup>5</sup> se definen a base de datos generales de estos suelos, ya que no se efectuó un análisis de suelo para poder determinar la dosis precisa para el lugar. El estudio pretendió determinar cual de estas dosis aplicadas, se aproxima más a la óptima para la especie y al tipo de suelo donde se ubicó el ensayo.

El fertilizante aplicado a la plantación fue una mezcla N, P y K (10: 30: 10). Esta fue una mezcla física, con distintos fertilizantes, cuya composición se precisa en el cuadro 1. Los 100 kg fueron elaborados con: nitromag (45 kg), superfosfato triple (13,5 kg), muriato de potasio (15,9 kg), fosfato monoamonico (MAP) (18 kg) y fertiyeso (7,6 kg).

Cuadro 1. Composición química de los fertilizantes empleados en la mezcla.

Fertilizantes	Nutrientes que aporta (%)					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca O	S	MgO
Nitromag	27	0	0	7	0	5
superfosfato triple	0	46	0	20	0	0
muriato de potasio	0	0	60	0	0	0
fosfato monoamónico	10	20,2	0	2,4	2,3	0,7
Fertiyeso	0	0	0	33	18	0

### 3.2.5 Medición de variables

Las variables medidas fueron: DAC (diámetro altura del cuello) a 2 cm del suelo para buscar uniformidad en las mediciones y de esta forma poder hacer una buena comparación entre los tratamientos (medido en cm); AT (altura total, medida en cm) y sobrevivencia (%). Estas mediciones se efectuaron la primera semana de septiembre del 2005.

Con las variables mencionadas anteriormente se procedió a calcular el factor de productividad ( $DAC^2 * HT$ ), que considera el diámetro de cuello y la altura, lográndose así un indicador de biomasa para medir el efecto de la fertilización.

La sobrevivencia se determinó a través de un censo de las plantas vivas y muertas de las parcelas en los distintos tratamientos. Estos resultados se expresan en porcentaje.

La calidad de las plantas se determinó en base a sus atributos morfológicos y sanitarios, según una pauta que pondera forma y sanidad de los individuos de la plantación (Anexo 3).

<sup>5</sup> Dosis recomendada por el profesor Juan Schlatter.

### 3.2.6 Diagnóstico nutritivo

El estado nutritivo de las plantas se determinó a través de un análisis químico del follaje (análisis foliar) en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile. Para este análisis se extrajo al azar una cantidad aproximada de 300 g de hojas por tratamiento, recolectadas de los tres bloques. Las muestras se recolectaron de la zona media de la copa para una mayor uniformidad de estas.

### 3.2.7 Análisis morfológico

Para la realización de este análisis, se procedió a tomar muestras al azar de 5 plantas por tratamiento en cada bloque, a las cuales se cortó una rama lateral del último verticilo desarrollado durante el primer año de la plantación. Una vez en laboratorio se procedió a contar para cada tratamiento la cantidad de hojas por rama y se determinó la densidad foliar, para un tramo estándar (cada 10 cm) en cada rama. Luego se separaron las ramas y hojas, y se midieron las siguientes variables:

- *Tamaño foliar*. Se determinó a través de un escaneo de 10 hojas por tratamiento, que se hubieran desarrollado durante el primer año usando el programa Image Tool 3.0, con el cual se calculó un promedio del tamaño foliar para cada tratamiento.
- *Peso húmedo de ramas y hojas*. Con una balanza electrónica se procedió a calcular un promedio por tratamiento de las variables peso húmedo hojas para el tamaño foliar, peso húmedo rama sin hojas, peso húmedo foliar, y peso húmedo para toda la rama.
- *Peso seco de ramas y hojas*. Con una balanza electrónica se procedió a calcular el peso seco de las mismas muestras a la que se les midió peso húmedo. Las muestras se secaron a una temperatura de 105 °C, durante 36 horas. Posteriormente se procedió a calcular un promedio por tratamiento de las variables peso seco hojas tamaño foliar, peso seco rama sin hojas y peso seco foliar.

Con la determinación de estas variables, se evaluaron las diferencias morfológicas que se produjeron por el efecto de las distintas dosis aplicadas en el ensayo.

### 3.2.8 Análisis de suelo

La toma de muestras de suelo para el análisis químico – nutritivo se efectuó extrayendo tres submuestras de suelo superficial (primeros 20 cm) en las parcelas con el TT en cada bloque, las cuales fueron luego mezcladas y homogenizadas en una bolsa, para finalmente extraer una cantidad representativa del suelo de aproximadamente 500g para el análisis, siguiendo la metodología señalada por Schlatter *et al.*, (2003). La caracterización químico-nutritiva contempló la determinación

de pH, nitrógeno total, fósforo disponible (Olsen) y potasio extraíble. También se determinó carbono total y se calculó la relación C/N. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

### 3.2.9 Análisis estadísticos

Para la determinación de las diferencias entre los tratamientos de las variables DAC y altura total, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) y el test de Tukey para la posterior comparación entre medias. El análisis de covarianza consideró el control del efecto de la altura total y DAC iniciales, sobre la altura total y DAC actuales de las plantas. El modelo de covarianza utilizado fue el siguiente:

$$Y = \mu + T + \beta(X - x) + \varepsilon$$

En donde Y, es el valor del incremento en altura o DAC, cuyo valor está en función de una media  $\mu$ ; de un tratamiento de dosis de fertilizantes T; del efecto lineal del incremento en altura o DAC de las plantas  $\beta(X - x)$ ; y del azar  $\varepsilon$ .

Para determinar si el factor de productividad, sobrevivencia y las variables determinadas en el análisis morfológico presentaban diferencias significativas, los datos se analizaron a través de un análisis de varianza (ANDEVA de una vía) y el test de Tukey para la posterior comparación entre medias. Previo a esto, se comprobó la homogeneidad de la varianza mediante el estadístico de Levene (Sokal y Rohlf, 1979). Todos los análisis se realizaron a un nivel de confianza de 95 % ( $P < 0,05$ ). Para los efectos de la aplicación del análisis de varianza para la variable sobrevivencia se realizó una transformación angular de los datos (Sokal y Rohlf, 1979), donde:

$$X = \arcseno \sqrt{100/X} ; \text{ siendo } x \text{ el dato porcentual.}$$

Una vez efectuada la transformación, se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar posibles diferencias entre los tratamientos.

Para el análisis de calidad de las plantas, que corresponden a variables no paramétricas, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis "H", para decidir si existían diferencias significativas entre los cuatro tratamientos. Si hay diferencias significativas se utiliza la prueba de comparaciones múltiples de Dunn, la cual compara las diferencias entre los rangos medios entre tratamientos con el valor de la diferencia promedio esperada (basado en el número de observaciones entre ellos). Si las diferencias son mínimas, se concluye que los tratamientos provienen de una misma distribución de población (Sokal y Rohlf, 1979).

Los datos obtenidos mediante el diagnóstico del estado nutritivo del suelo y foliar, fueron utilizados para complementar los resultados obtenidos de las variables medidas, por lo cual no se les sometió a un análisis estadístico.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análisis químico del suelo

La interpretación en base de una tabla de índices generales y categorías para los resultados del análisis químico<sup>6</sup>, indican que la mayor limitante del suelo es el elemento fósforo, que se presenta con muy bajos niveles disponibles (figura 3a y anexo 4). Otros elementos con disponibilidad media a baja son potasio, calcio, magnesio y boro especialmente en los bloques dos y tres de mayor pendiente. En cambio nitrógeno presenta un nivel alto a muy alto en reservas totales (figura 3c), como consecuencia de un alto contenido en materia orgánica (figura 3d). Sin embargo, su disponibilidad depende de más factores como del clima (temperatura, humedad) y de las condiciones químicas del suelo. La relación C/N es favorable, para un suelo fuertemente ácido que limita los procesos de mineralización (anexo 4).

El boro se encuentra en un nivel medio en el bloque uno. En cambio en los bloques dos y tres el nivel de boro se encuentra en un nivel bajo de disponibilidad en el suelo como se observa en la figura 3 (f).

El zinc presenta niveles medios (figura 3b) en los bloques uno y dos, sin embargo en el bloque tres se observa una tendencia a una menor disponibilidad mientras mayor es la pendiente del ensayo.

---

<sup>6</sup> Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Fac. Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile.

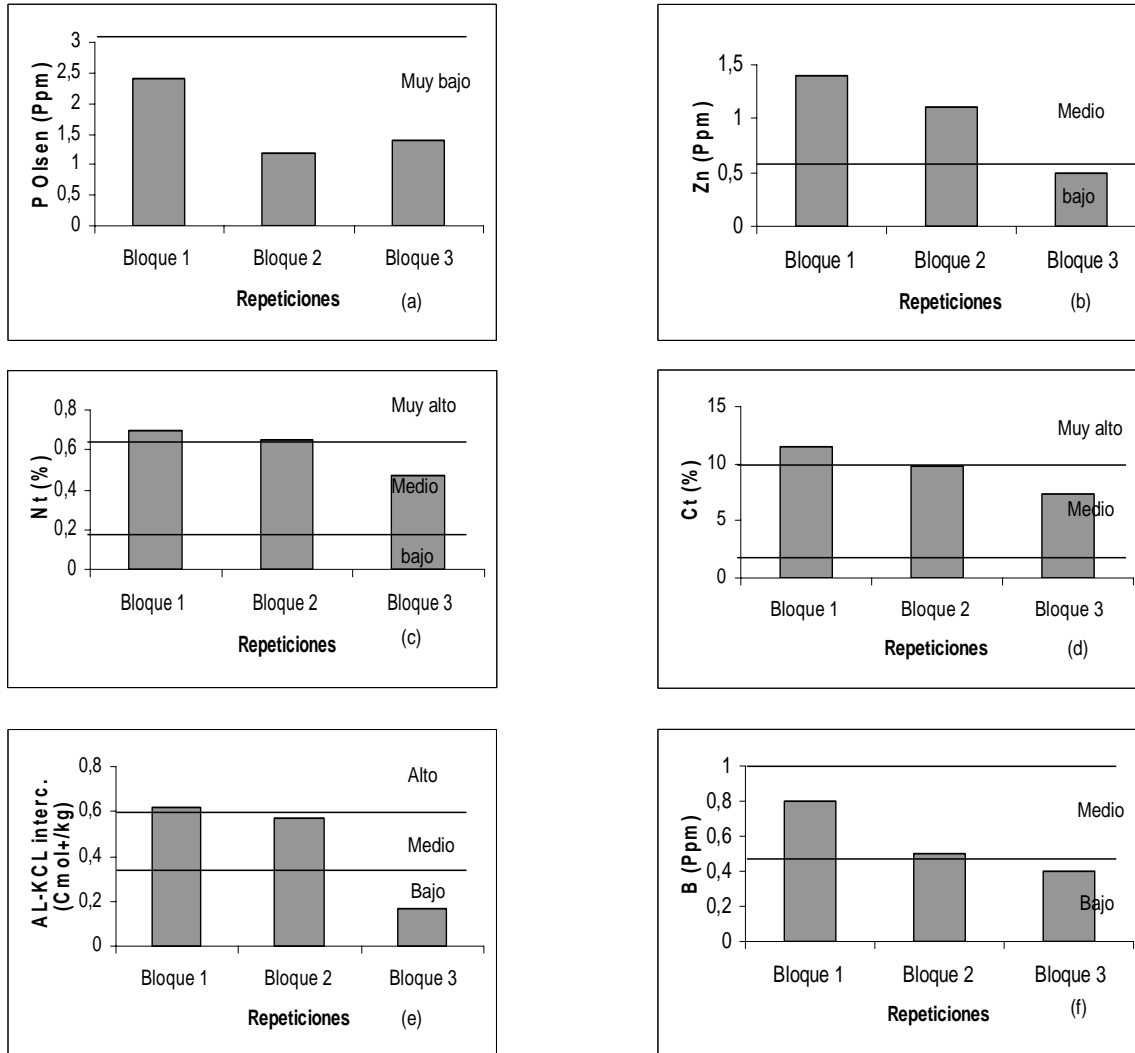


Figura 3. Resultados del análisis químico del suelo por elemento en suelos rojo arcilloso de la precordillera de la Costa de Valdivia. Las líneas horizontales definen los límites del nivel bajo, medio y alto en cuanto a la disponibilidad de los elementos, definidos por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

## 4.2 Supervivencia de las plantas

Los porcentajes de supervivencia fueron altos para todos los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150), con respecto al TT (figura 4); El tratamiento T50 presentó un 86,7 % de supervivencia, con una ganancia porcentual sobre el TT de un 15,6 %, seguido del T100 que presentó la tendencia más alta de supervivencia (96,5%), con una ganancia porcentual sobre el TT de un 28,6 %, y el T150, con un 80% y una ganancia sobre el TT de un 6,6%. El tratamiento testigo presentó el menor porcentaje de supervivencia con un 75%. Estas diferencias entre tratamientos fueron significativas ( $P= 0,041$ ) (figura 4).



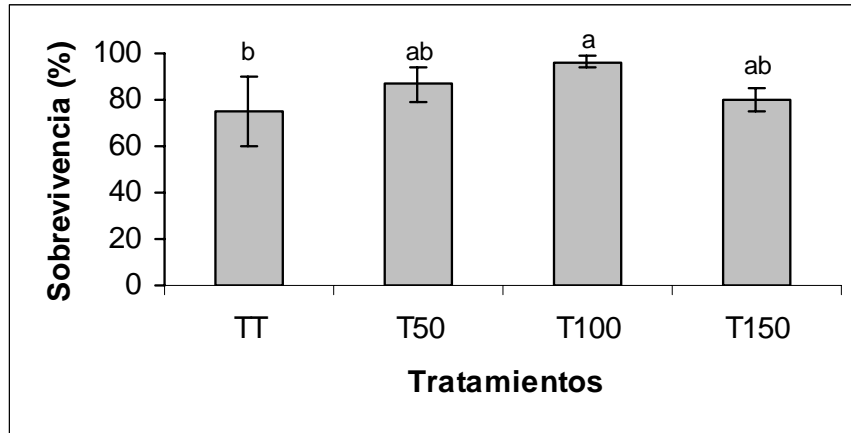


Figura 4. Porcentaje promedio de sobrevivencia de las tres repeticiones por tratamiento, después de un año de efectuada la plantación (ANDEVA;  $F = 4,411$ ;  $P = 0,041$ ). Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

### 4.3 Desarrollo de la altura, diámetro a la altura del cuello y factor de productividad de las plantas

#### 4.3.1 Incremento del diámetro a la altura del cuello

El mayor crecimiento anual en DAC lo alcanzó el T100 con 0,82 cm y una ganancia porcentual de 95,2% sobre el TT, seguido por el T150 con 0,77cm y una ganancia porcentual de 83,3 % sobre el TT y el T50 con un incremento de 0,75 cm y una ganancia porcentual de 78,5 % sobre el TT (Figura 5). El promedio para los tratamientos T50, T100 y T150 fue de 0,78 cm, siendo estos un 85,7 % superior respecto al TT, que sólo alcanzó 0,42 cm. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) y el tratamiento testigo (TT) ( $P < 0.0001$ ), pero no entre los tratamientos fertilizados.

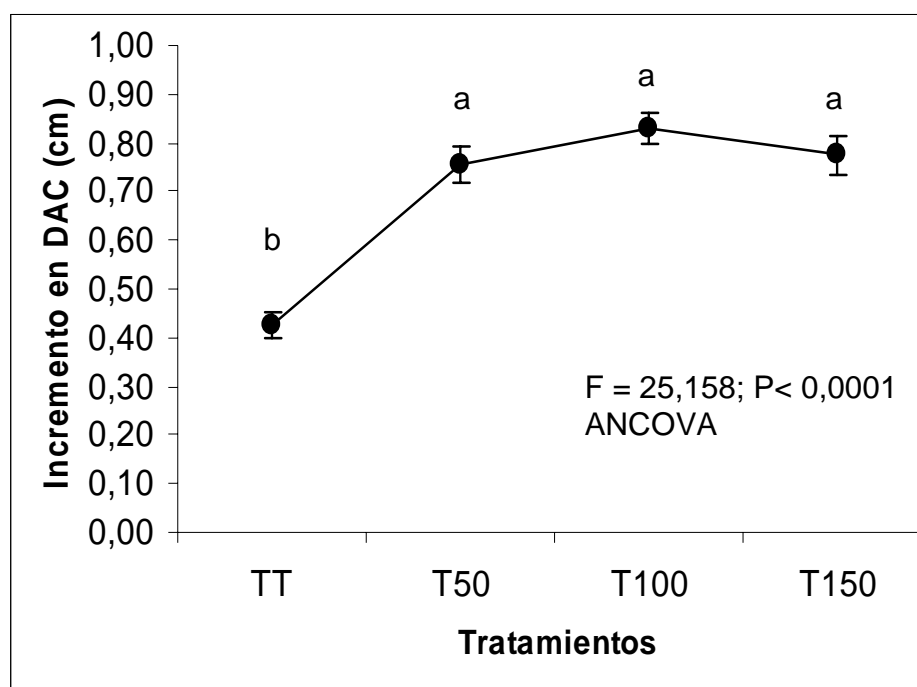


Figura 5. Comparación de los promedios por tratamiento para la variable incremento anual en DAC (cm) durante la primera temporada de crecimiento. Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

#### 4.3.2 Incremento en altura total (AT)

El mayor incremento en AT se produjo en el T100 con 77,3 cm con una ganancia porcentual de 75,5 % sobre el TT, seguido del T50 con 69,3 cm y una ganancia porcentual de 57,3 % sobre el TT, y el T150 con un incremento de 68,9 cm y una ganancia porcentual de 56,4 % sobre el TT (Figura 6). El promedio para los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) fue de 71,84 cm, siendo estos un 63,1 % superior respecto al TT, que fue de tan solo 44,05 cm. Las diferencias entre los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) y el tratamiento testigo (TT) fueron

significativas ( $P < 0.0001$ ). Para los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) no se detectaron diferencias significativas entre ellos.

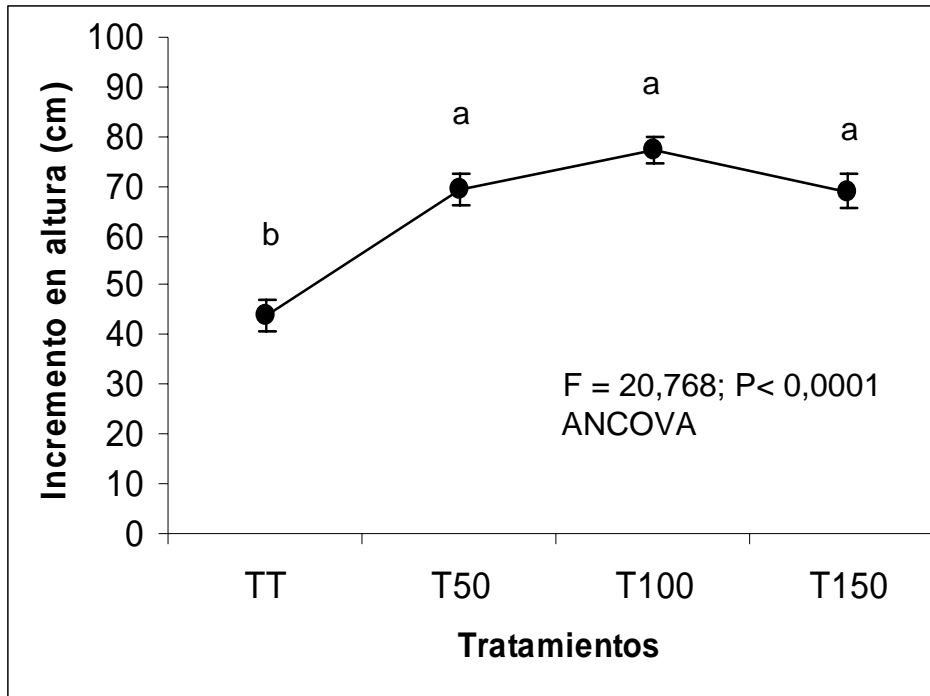


Figura 6. Comparación de los promedios por tratamiento para la variable incremento anual en AT (cm) durante la primera temporada de crecimiento. Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

#### 4.3.3 Factor de productividad

La variable factor de productividad ( $D^2H$ ) respondió de la misma forma que las variables DAC y AT en los distintos tratamientos. Hubo un aumento en el indicador de biomasa en los tratamientos fertilizados con respecto al tratamiento testigo (Figura 7). El tratamiento T100 alcanzó  $178,3 \text{ cm}^3$  obteniendo una ganancia porcentual sobre el TT de 182 %, seguido del T150 con  $157,1 \text{ cm}^3$  con una ganancia porcentual sobre el TT de 148 % y el T50 alcanzó  $156,7 \text{ cm}^3$  y una ganancia porcentual sobre el TT de 148 %. El promedio para los tratamientos T50, T100 y T150 fue de  $164,06 \text{ cm}^3$ , siendo estos un 159,7 % superior al TT, que fue de sólo  $63,15 \text{ cm}^3$ . Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,0001$ ) entre los tratamientos fertilizados (T50, T100 y T150) y el tratamiento testigo (TT). Los tratamientos fertilizados no presentaron diferencias significativas entre sí.

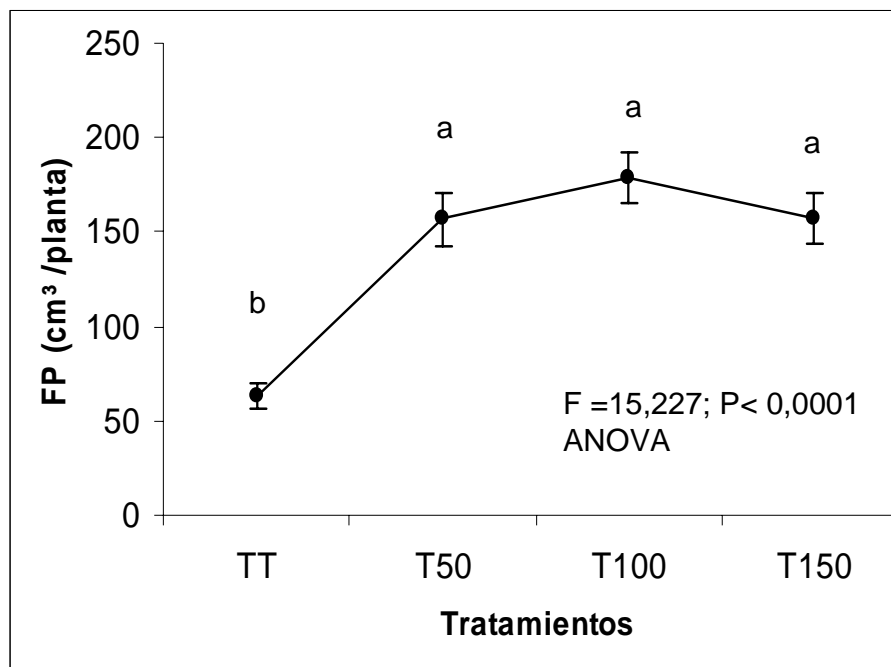


Figura 7. Comparación de los promedios por tratamiento para el factor de productividad D<sup>2</sup>H (cm<sup>3</sup>) durante la primera temporada de crecimiento. Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

#### 4.4 Análisis foliar

La interpretación en base a experiencias y de una tabla de índices generales y categorías para los resultados del análisis foliar<sup>7</sup>, indican que el fósforo tuvo un nivel foliar insuficiente (figura 8b) en todos los tratamientos, situación que se explica debido principalmente a la baja disponibilidad de este elemento en el suelo. Si bien la fertilización aumentó la disponibilidad de este elemento en el suelo, sigue siendo baja su concentración en la materia seca. El Potasio (figura 8d) se encuentra en niveles marginales en los tratamientos TT y T50, para luego aumentar la concentración en los tratamientos de mayor dosis (T100 y T150).

El nitrógeno (figura 8a) presenta un contenido satisfactorio en el TT, con un valor sobre la referencia para esta especie. Sin embargo en los tratamientos con fertilización se observan concentraciones marginales de este elemento, producto del mayor crecimiento por parte de las plantas, causándoles un efecto de dilución nutritiva.

La relación N/P, fue modificada en los tratamientos fertilizados con respecto al testigo (figura 8 c); a medida que se aumentó la dosis de fertilización, se logró una mejor

<sup>7</sup> Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Fac. Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile.

relación entre estos dos elementos, la que debiera fluctuar entre 14 – 18 para la especie<sup>8</sup>.

Calcio, magnesio, fierro, manganeso y boro mostraron una concentración adecuada, con niveles marginales a satisfactorios en los distintos tratamientos (anexo 5).

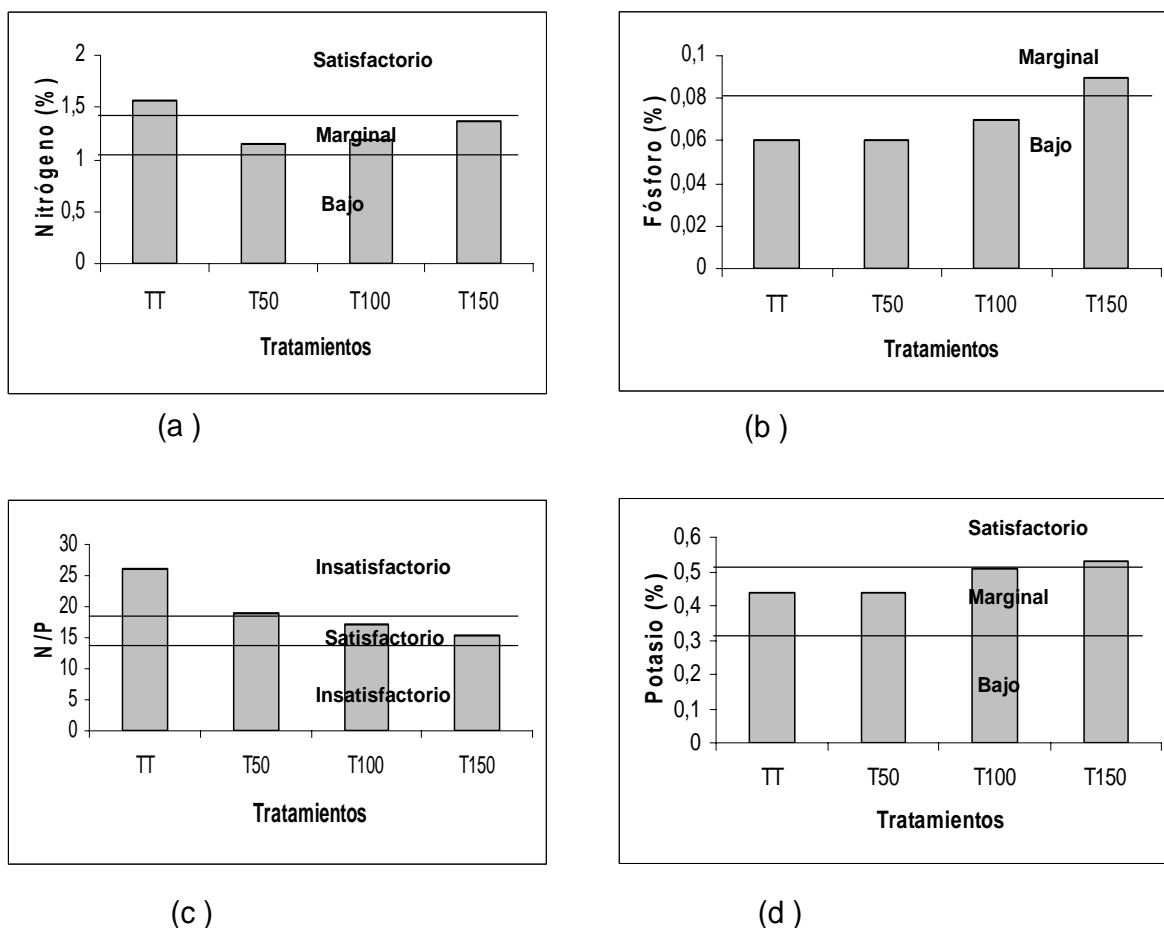


Figura 8. Resultados del análisis foliar realizado a las plantas de *Nothofagus dombeyi* por elemento. Las líneas horizontales definen los límites del nivel bajo, medio y alto en cuanto a la disponibilidad de los elementos, definidos por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

#### 4.5 Análisis morfológico

Los tratamientos T100 y T150 mostraron un aumento significativo del tamaño foliar con respecto al TT y T50 (figura 9a). El T50 tuvo 3,72 cm<sup>2</sup> de tamaño foliar, T100 4,73 cm<sup>2</sup>, y el T150 4,66 cm<sup>2</sup>. También se observa que hay dos grupos homogéneos; uno formado por los tratamientos de mayores dosis T100 y T150, y el otro grupo compuesto por el TT y T50, con un promedio de tamaño foliar para los tratamientos T100 y T150 de 4,69 cm<sup>2</sup> y de 3,69 cm<sup>2</sup> para los tratamientos TT y T50. Los

<sup>8</sup> Schlatter, J. 2006. Comunicación personal 2006.

primeros tuvieron una ganancia porcentual de un 27,1 % mayor que los tratamientos TT y T50. Estas diferencias fueron significativas ( $P < 0,0001$ ).

El peso húmedo y seco de las hojas del tamaño foliar no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, pero si se observa una tendencia a aumentar en los tratamientos T100 y T150 (anexo 6). Para el peso de las ramas sin hojas, tampoco se produjeron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque al igual que en el caso anterior, hubo un aumento de peso tanto húmedo y seco para los tratamientos T100 y T150 (anexo 6).

El peso húmedo foliar aumentó exponencialmente con la fertilización (figura 9b), donde el T150 tuvo 14 g, el T100 con 9,62 g, el T50 con 6,77 g, y TT solo 6,46 g, produciéndose diferencias significativas ( $P = 0,039$ ) entre el T150 y el TT. El peso seco foliar no mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero sí se aprecia una tendencia al aumento de peso de la materia seca foliar por parte de los tratamientos T100 y T150 (anexo 6).

Para el peso húmedo para toda la rama (figura 9c) se observa un aumento de peso en los tratamientos de mayores dosis (T100 y T150), los cuales fueron significativamente diferentes a los tratamientos T50 y TT ( $P < 0,0001$ ), donde el T150 tuvo 4,36 g, el T100 2,8 g, el T50 1,86 g y el TT 2,01 g.

En densidad foliar (figura 10d), se observó un aumento del número de hojas para 10 cm de rama en los tratamientos de mayores dosis de fertilización (T50, T100 y T150) con respecto al TT, produciéndose diferencias significativas entre T150 y TT ( $P = 0,002$ ). El T150 obtuvo 48 hojas, el T100 36 hojas, el T50 37 hojas y el TT 19 hojas.

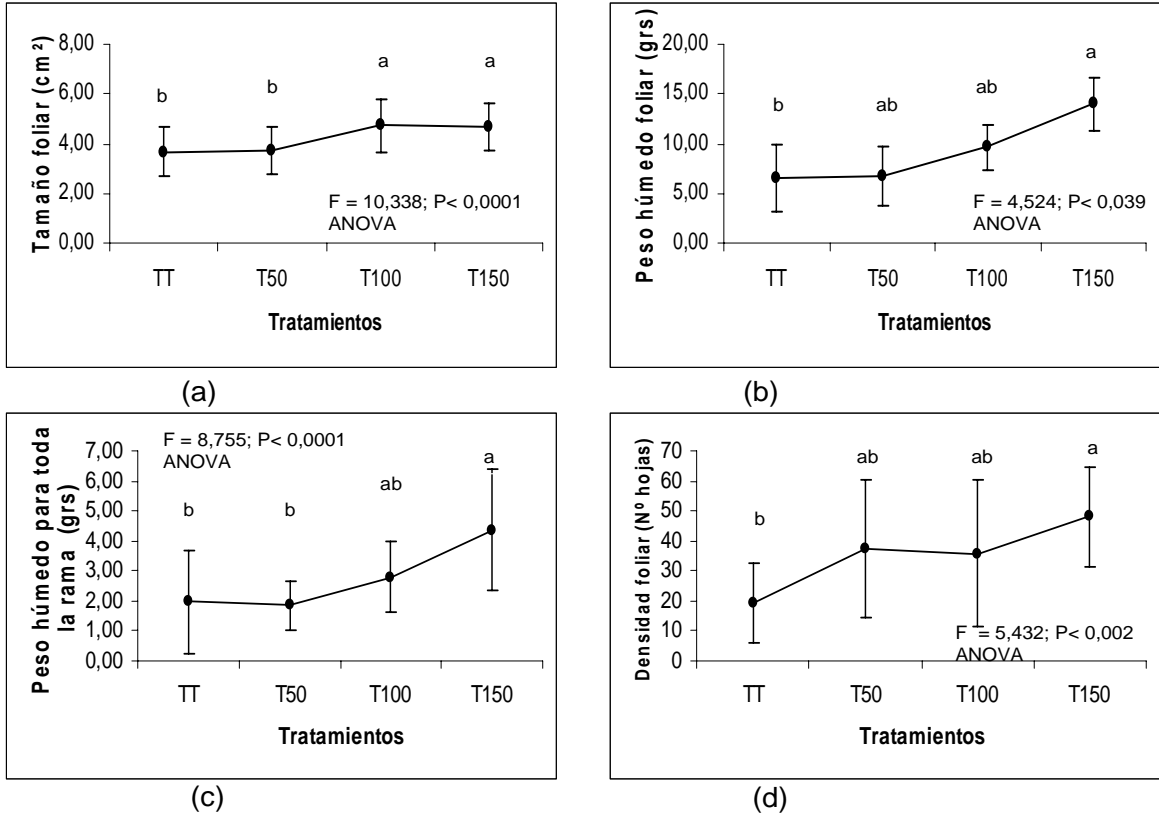


Figura 9. Comparación de medias para las variables morfológicas por tratamiento. Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

## 4.6 Calidad de las plantas

### 4.6.1 Sanidad

Las plantas de coihue presentaron diferencias significativas ( $P < 0,0001$ ) entre los tratamientos aplicados en cuanto a sanidad. El tratamiento TT, logró un alto porcentaje de plantas en buenas condiciones de sanidad (cuadro 2). Sin embargo la proporción en la categoría tres es alta debido a la alta mortalidad de plantas, producto de la gran mortalidad que se observó en este tratamiento. Para los tratamientos T50 y T100, se observa que los porcentajes de calidad uno aumentan, observándose plantas sin ningún daño aparente. Un menor porcentaje de plantas se encuentran en categoría dos, presentando daños a nivel de DAC producto de animales menores. Para el T150, se observó una mayor mortalidad de las plantas (cuadro 2).

Cuadro 2. Evaluación de los atributos de la sanidad en plantas de *Nothofagus dombeyi* de un año de edad, bajo distintos tratamientos de fertilización, según prueba de Kruskal-Wallis y Dunn (95% de confianza).

Tratamiento	N	Porcentaje de individuos según categoría de Sanidad (%)		
		1	2	3
TT	60	72	1	27
T50	60	80	5	15
T100	60	92	3	3
T150	60	78	0	22
<i>P</i>		0,0001		

#### 4.6.2 Forma

La forma no presentó diferencias significativas ( $P = 0,606$ ) entre los tratamientos con fertilización (T50, T100 y T150) y el TT (cuadro 3). Por lo tanto la fertilización no tuvo un efecto que pudiera empeorar la forma de éstos debido al acelerado crecimiento que experimentan las plantas al ser fertilizadas. Sin embargo, en el ensayo se observó en todos los tratamientos un porcentaje no menor de plantas que entran en la categoría dos, presentando problemas de curvatura leve o desviación del tallo. En la categoría tres, se ubica un porcentaje menor de plantas presentando problemas de bifurcación en su mayoría.

Cuadro 3. Evaluación de los atributos de la forma en plantas de *Nothofagus dombeyi* de un año de edad, bajo distintos tratamientos de fertilización, según prueba de Kruskal-Wallis y Dunn (95% de confianza).

Tratamiento	N	Porcentaje de individuos según categoría de Forma (%)		
		1	2	3
TT	45	78	11	11
T50	52	71	27	2
T100	58	69	26	5
T150	47	62	36	2
<i>P</i>		0,606		



## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis de suelo

Como se observa en los resultados del análisis químico del suelo, este presentó algunos elementos en cantidades insuficientes para las plantas, donde el fósforo se encontraba con muy bajos niveles deseables para plantación (figura 3a), confirmando las tendencias naturales de estos suelos al presentar valores muy bajos (CIREN, 2001). La baja disponibilidad de este elemento está estrechamente relacionada con los altos niveles de aluminio extraíble (Binkley, 1993). En un nivel bajo se encontraron elementos como potasio, calcio, manganeso y boro (figura 3d). En un nivel óptimo se encontró nitrógeno (figura 3c), debido al alto contenido de materia orgánica presente en el suelo (anexo 4). Sin embargo, su disponibilidad depende de más factores como, el clima (temperatura, humedad) y de las condiciones químicas del suelo. La relación C/N es favorable para un suelo fuertemente ácido que limita los procesos de mineralización (Binkley, 1993).

Respecto a la baja disponibilidad de fósforo (figura 3a), se puede señalar que la solubilidad de éste disminuye con pH inferiores a 5,6 (INIA, 1985). En el sitio de estudio los valores de reacción del suelo indican un pH fuertemente ácido de 5,4 a 5,6 en los primeros 20 cm, lo que disminuye la disponibilidad del fósforo. Con la condición química actual, también es alto el potencial de fijación de fósforo, debido a los altos contenidos de aluminio y hierro, lo que es común en suelos donde se observan altos valores de aluminio extractable (figura 3e), y un elevado valor de aluminio activo (anexo 4), formando compuestos que no serán utilizados por las plantas debido a que son insolubles en el suelo (Binkley, 1993). Esto último, podría afectar también el desarrollo radicular de las plantas, sin embargo el alto contenido de materia orgánica acumulado durante la evolución del suelo, amortigua en parte estos riesgos, ya que neutraliza parte de estos elementos<sup>9</sup>.

El boro se encuentra en un nivel medio a bajo en el suelo (figura 3f). Una de las posibles causas de su menor concentración se atribuye a la alta pluviosidad en la zona y posterior lixiviado que reducen su disponibilidad (Barceló, 2001). Sin embargo, el alto contenido de materia orgánica amortigua la deficiencia del boro. Por otra parte, el zinc presenta niveles medios en el suelo (figura 3b), mostrando una tendencia de menor disponibilidad mientras mayor es la pendiente del ensayo (figura 2). Esto hace suponer una pérdida de concentración de este elemento debido a la lixiviación y la erosión que presentaba el sitio en el bloque 3<sup>10</sup>.

### 5.2 Sobrevivencia

Los niveles de sobrevivencia altos se obtuvieron en los tratamientos fertilizados con dosis baja (T50) y media (T100), con un 86,7 % para T50 y un 96,5 % para el T100, evidenciando un efecto positivo y significativo para el normal establecimiento y

---

<sup>9</sup> Schlatter, J. 2006. Comunicación personal 2006.

<sup>10</sup> Soto, D.P., 2006. comunicación personal

desarrollo de las plantas. Los niveles más bajos de sobrevivencia se observaron en el TT con un 75% y en el T150 con un 80%. Este menor porcentaje para el TT se presume por las deficiencias nutricionales que presentaba el suelo (anexo 4), donde los elementos fósforo y potasio se encuentran en cantidades bajas y marginales (figura 3), lo cual estaría limitando el normal desarrollo de las plantas (Mazliak, 1976). Las deficiencias de fósforo, un nutriente esencial en la primera etapa de desarrollo de una planta ya que es requerido para el desarrollo de los nuevos tejidos, debería afectar principalmente el desarrollo radicular de las plantas (Mazliak, 1976). Esto implica que al no poder colonizar la planta un mayor volumen de suelo se le restringe a ésta la posibilidad de una mayor absorción de nutrientes y agua (Barceló, 2001). El potasio es un elemento esencial en la nutrición de las plantas ya que cumple funciones en el metabolismo de estas, como activación enzimática, procesos de transporte a través de membranas y potencial osmótico. Esto hace suponer que la deficiencia observada de este elemento en el suelo afectó los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas (Mazliak, 1976).

Para el T150 el menor porcentaje obtenido de sobrevivencia hace suponer una posible toxicidad del fertilizante, ya que se presume que los 150 g de dosis de fertilizante fueron excesivos provocando un efecto tóxico (salino), produciendo una competencia por el agua del suelo entre el fertilizante y la planta (Ciampitti, 2006). Las sales solubles, producen una disminución del potencial osmótico y, por consiguiente del potencial agua del suelo, produciendo una restricción en la disponibilidad de agua para la planta, que genera una deshidratación de sus tejidos (plasmólisis) y consecuente muerte (Ciampitti, 2006). Además la aplicación en semicírculo alrededor de la planta incrementó la posibilidad de mortalidad por toxicidad debido a que las plantas tuvieron una menor área de superficie del suelo donde las raíces pudieran evitar la competencia por agua que se produjo con el fertilizante. Para esta cantidad de dosis (150 g) de fertilizante, tal vez sea mejor aplicarlo en bandas laterales a 20 cm de las plantas, para evitar una posible toxicidad o simplemente no aplicarla, debido a que es una cantidad excesiva para este tipo de suelos, con lo cual se recomienda aplicar dosis entre 50 g a 100 g de fertilizante al momento de plantar coihue, al menos en suelos rojos arcillosos serie Los Ulmos.

Los porcentajes de sobrevivencia logrados en este ensayo son mayores a los encontrados por Torres (1996) en un ensayo realizado en la Cordillera de la Costa de Valdivia para la misma especie, donde se ensayaron tratamientos sin fertilización y con una aplicación de 80 g de superfosfato normal y 80 g de salitre potásico por planta. Torres (1996) obtuvo un 42 % de sobrevivencia para el tratamiento sin fertilización y 34 % para el tratamiento fertilizado al cabo de un año desde el establecimiento. Este menor porcentaje se puede explicar por las condiciones extremas del sitio (suelo muy alterado por erosión, escasa profundidad y afloramientos rocosos) y a la menor precipitación observada en esos años, en relación a un año normal (Torres, 1996). Adicionalmente otra razón de la baja sobrevivencia obtenida por Torres fue que la fertilización fue tardía (fines de noviembre del 1992) y el tipo de fertilizante favoreció el desarrollo de las partes aéreas en mayor proporción que las radiculares, lo que produjo una mayor demanda de agua por parte de las plantas que no pudo ser cubierta por el suelo (Torres, 1996).

### 5.3 Desarrollo de la altura, diámetro a la altura del cuello y factor de productividad de las plantas

Los resultados obtenidos después de un año de efectuada la plantación y la aplicación de diferentes dosis de fertilización, en suelos rojo arcillosos de la costa, permitieron determinar que la fertilización dio como resultado una mejor respuesta en el crecimiento de las variables diámetro a la altura del cuello, altura total y factor de productividad de las plantas. Debido a que el crecimiento de las plantas depende de una serie de factores ambientales (radiación, temperatura, agua y disponibilidad de nutrientes) (Binkley, 1993). Este último factor fue modificado en nuestro ensayo debido a la fertilización aplicada, lo cual permitió aumentar y acelerar la circulación de los nutrientes en el suelo, produciéndose un mayor crecimiento de las plantas en los tratamientos T50, T100 y T 150. Las figuras 4, 5 y 6, muestran gráficamente las tendencias de estos parámetros a distintas dosis de fertilización aplicados en el ensayo. La marcada diferencia que se produce entre los tratamientos fertilizados y el tratamiento testigo, puede ser explicado por las deficiencias nutritivas del suelo (figura 3 y anexo 4), particularmente por las deficiencias en fósforo y en menor medida en potasio. Por lo tanto, aparentemente la fertilización jugó un rol fundamental en abastecer a las plantas de estos elementos deficientes y balancear otros, mejorando el adecuado abastecimiento de nutrientes desde el suelo a las plantas. Esto concuerda con Barceló (2001), quien señala que las plantas jóvenes al no presentar dificultades de agua y minerales aumentan en biomasa, produciendo un aumento de células meristemáticas y del área fotosintética, potenciando el crecimiento.

A partir del tratamiento 50 g se generó toda una diferenciación entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados. Este mayor crecimiento logrado en diámetro, altura total y biomasa, indica que la fertilización con dosis de 50 g se tradujo en un efecto positivo sobre el crecimiento, ya que aceleró el desarrollo de las plantas, lo cual permite una rápida colonización del suelo por las raíces, una temprana y mejor utilización de los recursos (agua y nutrientes) presentes en el suelo y una mejor sobrevivencia (Villarroel, 2004). Los tratamientos T100 y T150 tuvieron la misma respuesta de crecimiento que el tratamiento T50, no diferenciándose estadísticamente entre ellos. Sin embargo, hay otros factores a considerar para determinar que dosis produce una mejor respuesta inicial de las plantas. Por ejemplo con el tratamiento T100 se mejora la sobrevivencia en un 10 % sobre el T50, también con el T100 se mejoran los niveles de disponibilidad de algunos elementos (Figura 8), lo cual favorecerá a futuro el crecimiento de las plantas (Mazliak, 1976). Otro aspecto importante a considerar, es efectuar un buen diagnóstico de fertilidad del suelo antes de realizar la plantación, para poder determinar que elementos se encuentran en cantidad insuficientes en el suelo y con ello definir la dosis de fertilizante apropiados para aumentar la productividad de las futuras plantaciones.

La respuesta obtenida en este ensayo, se asemeja bastante a los incrementos que se producen en plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucaliptos sp* en Chile, cuando se fertiliza al momento del establecimiento de la plantación (Schlatter *et al.*, 2001). Además el crecimiento logrado en el ensayo concuerda con el encontrado por

Grosse (1988) en su ensayo, realizado en el fundo Jauja, sector de Santa Luisa, provincia de Malleco, donde determino el crecimiento de plantaciones de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus nervosa* bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización, donde determina que la aplicación de fertilizantes (N,P,K) aumentó el nivel de sobrevivencia e incrementó el crecimiento en un 70 % en altura para raulí y en un 150 % para roble. Estos fueron 24 cm y 75 cm de crecimiento en altura para *Nothofagus nervosa* y *Nothofagus obliqua* (Grosse, 1988).

Torres (1996) también observó que la fertilización provocó mayores tasas de crecimiento para roble y coihue en áreas donde las plantas encontraron condiciones de sitio favorables. En condiciones de sitio desfavorables Torres (1996) determinó que la fertilización en general no tuvo gran incidencia sobre el crecimiento en su primera etapa de establecimiento, sin embargo una vez superado el estrés de plantación, las plantas fertilizadas se desarrollaron mejor que las no fertilizadas.

Jara (1986), observó que las deficiencias de elementos como nitrógeno, fósforo y potasio en el sustrato provocan las diferencias en desarrollo (crecimiento y biomasa) de las plantas, concordando con este ensayo donde las deficiencias nutritivas del suelo impiden mayores incrementos de las plantas en el tratamiento testigo.

Ensayos como este, deben ser complementados con futuras evaluaciones, permitiendo recoger la verdadera tendencia de crecimiento de la plantación a lo largo de todo su ciclo productivo, lo cual sería muy conveniente dada las características y al gran potencial que tiene esta especie para establecerse como plantaciones a modo de forestación o reforestación (Loewe, 1998). Este tipo de ensayos también debieran de propagarse a otras series de suelos para obtener datos concretos del crecimiento y efectos del tratamiento aplicado, para a futuro elaborar un registro de propuestas para su silvicultura. Sin embargo es recomendable efectuar un diagnóstico de fertilidad del suelo antes de dosificar el fertilizante.

#### **5.4 Análisis foliar**

El análisis foliar realizado después de un año y medio de haberse establecido el ensayo, indicó que algunos elementos absorbidos en mayor cantidad como nitrógeno, fósforo y potasio (figura 8) se encuentran en cantidades bajas a marginales en algunos tratamientos. Esta deficiencia sería producto del explosivo crecimiento que se produjo en las plantas de los tratamientos fertilizados, en las cuales hubo un efecto de dilución nutritiva de estos elementos, es decir, a futuro o hasta el cierre de copas de la plantación se podría producir un crecimiento más lento de estas plantaciones, debido a que el suelo no podrá abastecer un flujo continuo de nutrientes (Mazliak, 1976). Sin embargo, en los tratamientos de mayores dosis de fertilización T100 y T150 se mejoran los niveles de disponibilidad de algunos elementos, presentando cantidades marginales a satisfactorias (figura 8), y también se mejora la relación N / P producto de la fertilización, lo cual a futuro, favorecerá el desarrollo de las plantas, manteniendo su ritmo de crecimiento.

Los resultados obtenidos del análisis foliar de este ensayo para el TT difieren en gran medida con los encontrados por Aguilera y Fehlandt (1981), para plantas de dos períodos vegetativos sin fertilizar, obtenidos bajo 100 % de luminosidad, quienes encontraron niveles satisfactorios para los elementos nitrógeno, fósforo y potasio. Jara (1986) demuestra en su estudio realizado en vivero la importancia de elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio, donde señala que esta especie tiene una alta capacidad de adaptación a condiciones nutritivas desfavorables, obteniendo altos porcentajes de sobrevivencia en los distintos tratamientos aplicados. Sin embargo, la carencia de elementos como nitrógeno, fósforo y potasio, que cumplen funciones específicas en el metabolismo de la planta, podría traducirse en plantas con crecimiento restringido, malformaciones y posibles problemas sanitarios (Barceló, 2001).

### **5.5 Análisis morfológico**

El mayor incremento observado en biomasa por parte de los tratamientos de mayores dosis producto de la fertilización (figura 9) se debe a la estrecha relación con la nutrición (Barceló, 2001). Este aporte de nutrientes que participan en forma activa en la nutrición de la planta tuvo una influencia en el crecimiento, lo que se tradujo en un mayor crecimiento de tejidos y órganos. A medida que la planta aumenta en biomasa, producto de la fertilización, se produce un aumento de células meristemáticas y de área fotosintética, permitiendo a la planta aumentar su potencial de crecimiento, logrando un crecimiento mas rápido que las plantas no fertilizadas (Barceló, 2001).

El incremento producido sobre el tamaño foliar (figura 9a) en los tratamientos T100 y T150 debe interpretarse como una respuesta al aumento de la disponibilidad de nitrógeno a través de la fertilización, debido a que el nitrógeno es un componente esencial de las proteínas sintetizadas a partir de los aminoácidos, lo cual se transforma en crecimiento de las hojas, aumentando la superficie fotosintética (Barceló, 2001). El aumento del peso húmedo foliar (figura 9b) de los tratamientos de mayores dosis, se explica en ganancia de agua por parte de los tejidos, que tuvieron un aumento de sus células debido al estímulo externo que produce una fertilización (Barceló, 2001) y la mayor cantidad de hojas desarrolladas en estos tratamientos.

El aumento del peso húmedo para toda la rama (figura 9c) y el aumento del número de hojas (figura 9d) de los tratamientos fertilizados se produce producto del continuo abastecimiento de nutrientes aportados en la fertilización, además del continuo abastecimiento de agua producto de las lluvias típicas en la zona, haciendo que estos dos factores indispensables para el aumento rápido del tamaño foliar tengan un efecto sinérgico favorable. Los tratamientos de fertilización mejoraron la eficiencia en captación de luz de las plantas, dado que estimularon un aumento en la superficie foliar fotosintéticamente activa y esto está estrechamente relacionado con la respuesta en la producción de biomasa obtenida (Barceló, 2001).

## 5.6 Calidad

Las plantas de coihue presentaron buenas condiciones de sanidad para el tratamiento TT. Sin embargo, producto de la fertilización las plantas aumentaron significativamente el nivel de sobrevivencia, lo que le permitió a las plantas desarrollar un buen sistema radicular y foliar, formando plantas más vigorosas y menos propensas a posibles ataques de agentes externos en su primera etapa de desarrollo.

Los problemas encontrados en cuanto a la forma de las plantas se deben al hábito de crecimiento que presenta la especie, particularmente en cuanto a su tendencia a bifurcarse a temprana edad (Donoso *et al.*, 1999). Esto concuerda con lo observado en el ensayo, ya que las plantas que se encuentran en categoría tres presentan problemas de bifurcación. Por lo tanto, la fertilización no tuvo un efecto significativo que pudiera afectar la forma de estos. También se observa un porcentaje no menor de plantas que están en la categoría dos, con presencia de curvatura leve o desviación del tallo. Sin embargo esta condición es recuperable a través de los años, debido al incremento en grosor que se producirá en el tallo (Donoso *et al.*, 1999).

Otro problema detectado en el ensayo fue el daño producido por el ramoneo de animales menores en el ensayo encontrándose debidamente protegido. El daño observado afectó a las plantas principalmente a nivel de DAC. Estos daños retrasan considerablemente el normal desarrollo de las plantas y en definitiva, por forma o sanidad, producirán menor volumen y calidad (Donoso *et al.*, 1999).

## 6. CONCLUSIONES

El ensayo de coihue (*Nothofagus dombeyi*) presentó una alta sobrevivencia para el tratamiento testigo en este tipo de suelos rojo arcillosos con ofertas limitadas de fósforo y potasio, lo que demuestra la alta capacidad de adaptación de esta especie a condiciones desfavorables de suelo. Sin embargo, la aplicación del fertilizante mezcla N,P,K (10 – 30 - 10) aumentó los niveles de sobrevivencia en términos significativos, presentando una ganancia porcentual de un 28,6% como máximo y de un 6,6% como mínimo.

Los diferentes tratamientos de fertilización aplicados al ensayo en su establecimiento, favorecieron significativamente el incremento de las variables, produciendo un aumento de un 85,7% en diámetro a la altura del cuello, 63,1% en altura y 159,7% para el factor de productividad, de los tratamientos fertilizados sobre el tratamiento testigo.

Al generar un análisis más detallado, es posible definir al tratamiento de 50 g de menor dosis, como un tratamiento sobresaliente entre los tratamientos de fertilización, ya que produjo un incremento considerable en diámetro a la altura del cuello, altura total y factor de productividad, no diferenciándose estadísticamente con los tratamientos de mayores dosis. Esto representa una alternativa para acelerar el desarrollo de las plantas, permitir un rápido establecimiento y producir un ahorro de fertilizante, permitiendo disminuir los costos de establecimiento para futuras plantaciones.

El análisis foliar entregó como resultados que en los tratamientos de mayores dosis de fertilización se mejoran los niveles de disponibilidad de algunos elementos. Por otra parte los niveles de micronutrientes se encuentran en niveles satisfactorios, lo cual a futuro favorecerá el normal desarrollo de las plantas manteniendo su ritmo de crecimiento.

Los resultados obtenidos del análisis morfológico permiten concluir que el continuo abastecimiento de nutrientes aportados por la fertilización, favoreció el crecimiento de tejidos y órganos, permitiendo a las plantas aumentar su biomasa. Logrando acelerar su crecimiento y permitir un rápido y adecuado establecimiento en este periodo inicial.

Respecto a la calidad de las plantas, estas presentaron un alto porcentaje de buenas condiciones de sanidad en el testigo. Para los tratamientos fertilizados aumentó este porcentaje, ya que la fertilización favoreció el éxito en el establecimiento de la plantación.

Las distintas dosis de fertilización no tuvieron un efecto sobre la forma de la planta. Esto se podría atribuir al hábito de crecimiento que presenta la especie.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, L. FEHLANDT, A. 1981. Desarrollo inicial de *Nothofagus alpina* y *Nothofagus dombeyi* bajo tres grados de sombra. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 101p.
- BARCELÖ, J. NICOLÄS, G. SABATER, B. 2001. Fisiología vegetal. Ed. Pirámide. Madrid. 566 p.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Practicas de manejo. México, Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. 340p.
- CiAMPITTI, I. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos. Archivo agronómico. Inf. Agron. 10: 1-8. INPOFOS Cono Sur.
- CIREN. 2001. Estudio agrológico de la Provincia de Valdivia, X Región; Descripciones de suelo, material y símbolos. Centro de Investigación de Recursos Naturales. Corporación de Fomento a la Producción, Ministerio de economía. Santiago (Chile). 196p.
- DANIEL, T. HELMS, J. BAKER, F. 1982. Principios de silvicultura. Ed. McGraw-Hill. México. 491 p.
- Di CASTRI, F. E. HAJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile. Santiago. 129 p.
- DONOSO, P; M. GONZÁLEZ; B. ESCOBAR; I. BASSO; L. OTERO. 1999. Viverización y plantación de Raulí, Roble y Coihue. Capítulo 7 in: Donoso, C., A. Lara. 1999. Silvicultura de los bosques nativos de Chile. Chile, 1º edición, Editorial Universitaria. 421p.
- FRESARD, G. 2004. Evaluación de una fertilización en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. De uno y dos años de edad, Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 42 p.
- FUENZALIDA, P. 1971. Climatología de Chile. Santiago, Chile, Ed. Universitaria. . 73 p.
- GERDING, V. 1996. Consideraciones para ensayos de fertilización en terreno. Curso de Nutrición Forestal y Manejo de Suelos. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 8 p.
- GERDING, V. GREZ, R. 1996. Diagnostico de deficiencias nutritivas en plantaciones forestales. Orientado a la Aplicación de Fertilizantes. En: Curso de Fertilización Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 22 p.



- GROS, A. 1986. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 7º Edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 560 p.
- GROSSE, H. 1988. Crecimiento de plantaciones con raulí – roble bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización. Ciencias e Investigación Forestal. (Santiago) 2(5) : 13-30.
- HUBER, A. 1970. Diez años de observaciones climatológicas en la estación Teja – Valdivia (Chile), 1960 – 1970. Universidad Austral de Chile, Instituto de Geología y geografía., Valdivia, Chile. 59 p.
- INIA. 1985. Suelos volcánicos de Chile. INIA. Santiago. 723p.
- INFOR. 2005. El Sector Forestal Chileno en una mirada. 68p.
- IREN-CORFO-UACH. 1978. Estudios de los suelos de la provincia de Valdivia. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 178 p.
- JARA, G. 1986. Importancia de los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo en el crecimiento de coigue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) durante sus dos primeros años. Universidad Austral de Chile. Tesis Ing. For. 69 p.
- LOEWE, V. 1998. Monografía de Coihue *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. Neuenschwander y Cruz. Santiago (Chile) 113p.
- MAUREIRA, J. 1995. Caracterización y evaluación del crecimiento de tres plantaciones de Coihue común *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. ubicadas en la Provincia de Valdivia. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Tesis Ing. For. 66p.
- MAZLIAK, 1976. Fisiología Vegetal: Nutrición y Metabolismo. Barcelona, Editorial Omega. 350 p.
- MENZEL, T. 1993. Redistribución de las precipitaciones en un Bosque Siempreverde en la Provincia de Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Tesis Ing. For. 87p.
- NOVOA, R. S. VILLASECA; P. DEL CANTO; J. RAVANET; C. SIRRA; A. DEL POZO. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agrarias. Santiago, Chile. 1:221 p., 2: Mapas.
- PRADO, J. 1989. Eucalyptus; principios de silvicultura y manejo. INFOR-CORFO. 199 p.

- SCHLATTER, J.E. GERDING, V. BRANDT, E. 2001. Silvicultura. En: Sociedad Química y Minera de Chile S.S. (ed.), Agenda del Salitre. Santiago.
- SCHLATTER, J.E.; R. GREZ Y V. GERDING. 2003. Manual de reconocimiento de suelos. 3a ed. Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 114 p.
- SOKAL, R Y F. ROHLF, 1979. Biometría; Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid, Editorial H. Blume. 832 p.
- TORO, J. 1988. Efecto de la Fertilización en el desarrollo inicial de plantaciones de *Eucalyptus*. In: Actas "Simposio Manejo Silvícola del Genero *Eucalyptus*". Viña del Mar, Chile. CORFO-INFOR. XI. 19p.
- TORRES, A. 1996. Grados de cobertura y fertilización en el establecimiento de plantaciones de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Bl.), raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst.) y coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.). Universidad Austral de Chile. Tesis Ing. For. 74 p.
- VEBLEN, TT. 1979. Structure and dynamics of *Nothofagus* forests near timberline in south-central Chile. *Ecology* 60 (5), pp. 937-945.
- VILLARROEL, P. 2004. Análisis económico de una aplicación de riego por aspersión sobre una plantación de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden establecida en un suelo rojo arcilloso del valle central de la VIII Región, Chile. Tesis Ing. For. Temuco. Universidad Católica de Temuco, Fac. de Cs. Agropecuarias y Forestales. 123p.

## **Anexos**

## **ANEXO 1**

*Abstract*

## **Initial response of a *Nothofagus dombeyi* (MIRB) OERST plantation to different fertilizer doses in the Coastal Range of Valdivia**

A test of different doses of N, P, K (10 – 30 – 10) fertilization was conducted in a *Nothofagus dombeyi* (MIRB) OERST plantation at low elevation in the Coastal Range of Valdivia, on a terrain with red clayey soil previously used for cattle raising. In this study the objective was to evaluate the development of a *N. dombeyi* plantation with three fertilizer doses and without fertilizer after the first growing season. A random block design with three replications per treatment was used, with four fertilization treatments of twenty plants each. Treatment 1 (T50) corresponded to 50 g per plant, treatment 2 (T100) to 100 g for plant, treatment 3 (T150) to 150 g for plant and the control treatment (TT) had no fertilizer. There was no weed control in these plantations.

The purposes of the study were to evaluate the effect of fertilizer applications on mortality, growth, and quality of the plantation.

The application of the different fertilizer doses was a significant factor in the survival of plants, since treatments of 50 g and of 100 g presented the higher percentages of survival with 86.6 % and 96.5 % each one, demonstrating significant differences with the treatment witness (75 %) and treatment 150 g (80 %). The greater growth rates reached with the fertilizer treatments (T50, T100 and T150) in root-collar diameter (85,7 % over the witness) , height (63,1 % over the witness) and productivity (159,7 % over the witness) can be explained by the effect of fertilization in terms of overcoming deficiencies of some elements in the soil and balancing others, which improved the continuous supply of nutrients from the soil to the plants. The fertilization also produced some morphologic modifications in the plants, especially a greater tissue biomass, since fertilization allowed the plants to develop a greater physiological capability. Regarding the health of the plants, these encountered in the treatments T50 and T100 a success at his establishment that translated into more vigorous plants less prone to possible biotic and abiotic attacks in this stage of development. Some forking observed in some plants is believed to be due to the growth habit of *N. dombeyi*, and fertilization did not seem to affect tree form.

**Key words:** Height growth, diameter growth, initial plantation productivity, mortality.

## **ANEXO 2**

**Resultados promedios por tratamiento de incremento en diámetro a la altura del cuello, incremento en altura total, factor de productividad y sobrevivencia de las plantas de *Nothofagus dombeyi* por bloque**

Ubicación topográfica	Variables	Promedios por tratamiento			
		TT	T50	T100	T150
Bloque 1 (Ladera alta)	Incremento en DAC (cm)	0,33	0,61	0,98	0,90
	Incremento en AT (cm)	38,5	56,7	92,4	88,6
	Factor de productividad (cm <sup>3</sup> )	48,4	109,7	245,6	220,5
	Sobrevivencia (%)	90	95	99,5	75
Bloque 2 (Ladera media)	Incremento en DAC (cm)	0,47	0,88	0,81	0,63
	Incremento en AT (cm)	49,5	85,2	71	55
	Factor de productividad (cm <sup>3</sup> )	74,7	179,2	156,5	102,7
	Sobrevivencia (%)	60	85	95	85
Bloque 3 (Ladera media baja)	Incremento en DAC (cm)	0,49	0,78	0,68	0,79
	Incremento en AT (cm)	46,3	67,2	67,6	65,1
	Factor de productividad (cm <sup>3</sup> )	71,4	155,2	120,9	146,1
	Sobrevivencia (%)	75	80	95	80

## **ANEXO 3**

**Atributos de calidad para la calificación de plantas de *Nothofagus dombeyi* en establecimiento**



Atributos de forma de los individuos.

Categoría	Estado
1	Planta sin ninguna curvatura o bifurcación
2	Planta con presencia de curvatura* (2/3 superiores)
3	Planta bifurcadas, multiflecha, quebrada o curvatura en la base

Los detalles de los criterios de evaluación de la forma de los árboles, se refieren a la desviación que presenta el fuste con respecto al eje central. Estos detalles son:

1. Fuste recto, sin ninguna curvatura, con respecto a su eje central.
2. Con presencia de curvatura o desviación del tallo en los dos tercios superiores, es decir que se desvía levemente del eje central
3. Bifurcación, multiflecha, torcedura del fuste con respecto al eje central imaginario del fuste, o fuste principal quebrado, por acción biótica o abiótica.

Atributos de sanidad de los individuos.

Categoría	Estado
1	Planta sin daño aparente
2	Planta con clorosis en la copa (< al 50 % de la copa)
3	Planta totalmente clorótica

Los detalles de los criterios de evaluación de la sanidad de los árboles, son los siguientes:

1. Planta sana, sin presencia de síntomas o signos de daños abióticos o bióticos, y con presencia de follaje verde homogéneo en la totalidad de la copa.
2. Planta con síntomas de daños abióticos o bióticos, presencia de follaje de coloración heterogénea < al 50 % de la copa (clorosis, quebradura de ramas, etc.)
3. Planta muerta o con daño en toda la planta, desde el ápice al cuello, coloración heterogénea > al 50 % de la copa, desarrollo morfológico restringido (copa 100 % clorótica, quebradura o cortadura a nivel de cuello, etc.)

## **ANEXO 4**

**Resultados del análisis químico del suelo por bloque**

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

LABORATORIO DE NUTRICION Y SUELOS FORESTALES - FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
CASILLA 567 - VALDIVIA FONOFAX (05) 221431 E-mail labnat@vialma.uauca.uchile.cl  
http://www.uauca.uchile.cl/lab/suelosforestales



JEFE LABORATORIO:  
ANALISTAS:

OSIELA ROMERO\*, Bioquímica  
TATIANA VIVANCO, Bioquímica  
YANIBEL BORRERO, Tecnología Médica  
OSIELA ROMERO\*, Bioquímica

SOLICITANTE: Sr. Juan Schuster (FONDEF, Pablo Conzatti)

FECHA RECEPCION: 5-ene-2005

FECHA ENTREGA: 29-ene-2005

ARCHIVO: SCHLDT

**INFORME ANALISIS QUIMICO DE SUELOS**

Nº RESULTADOS ANALITICOS EXPRESADOS EN RELACION PESOS/SECO

Nº LAB.	IDENTIFICACION	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Cl %	Ni %	CIN	N-NO <sub>3</sub>	P Olsen	Acetato de Amonio pH 4.8 - DTPA ppm										Al-KCl
										Na	K	Ca	Mg	Fb	Mn	Cu	Zn	B	S	
35	Bloque I		5,45	4,52	11,44	0,70	16,4	2,4	2150	41	59	205	70	141	10	5,7	1,4	0,8	18	56
36	Bloque II		5,35	4,49	9,83	0,65	15,2	1,2	1710	38	67	152	43	143	9	4,9	1,1	0,5	16	51
37	Bloque III		5,85	4,88	7,35	0,47	15,6	1,4	1540	31	72	137	50	153	5	4,9	0,5	0,4	26	16

VALORES GENERALES DE REFERENCIA \*

A	MUY BAJO	< 0,0	< 0,0	< 0,0	< 0,0	< 0,0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
B	BAJO	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
C	INTERMEDIO	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40
D	ALTO	0,7-1,0	0,7-1,0	0,7-1,0	0,7-1,0	0,7-1,0	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60
E	MUY ALTO	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60	> 60

RESULTADOS ANALITICOS EXPRESADOS EN MUEQUIVALENTES

Nº LAB.	IDENTIFICACION	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Cl %	Ni %	CIN	N-NO <sub>3</sub>	P Olsen	Acetato de Amonio pH 4.8 - DTPA mg/100g										Al-KCl
										Na	K	Ca	Mg	Fb	Mn	Cu	Zn	B	S	
35	Bloque I		5,45	4,52	11,44	0,70	16,4	2,4	2150	41	59	205	70	141	10	5,7	1,4	0,8	18	56
36	Bloque II		5,35	4,49	9,83	0,65	15,2	1,2	1710	38	67	152	43	143	9	4,9	1,1	0,5	16	51
37	Bloque III		5,85	4,88	7,35	0,47	15,6	1,4	1540	31	72	137	50	153	5	4,9	0,5	0,4	26	16

Casa Romery K  
Jefe de Laboratorio

## **ANEXO 5**

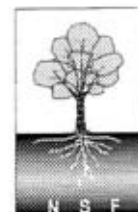
**Resultados del análisis químico foliar de las plantas de *Nothofagus dombeyi***

# UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

LABORATORIO DE NUTRICION Y SUELOS FORESTALES - FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CASILLA 567 - VALDIVIA FONOPAX (63) 221431 E-mail labnsf@uach.cl

<http://www.uach.cl/labsuelosforestales>



JEFE LABORATORIO: GISELA ROMENY, Bioquímico  
 ANALISTAS: TATIANA VIVANCO, Bioquímico  
 YANIBEL MORAGA, Tecnólogo Médico  
 GISELA ROMENY, Bioquímico

SOLICITANTE: Sr. Juan Schlatter Fondel (Pablo Donoso)  
 FECHA RECEPCION: 5-ene-2006  
 FECHA ENTREGA: 20-ene-2006  
 ARCHIVO: SCHL01

### INFORME ANALISIS QUIMICO DE MATERIAL VEGETAL

RESULTADOS ANALITICOS REFERIDOS A MUESTRA SECA A 105°C

N° LAB.	IDENTIFICACION		ELEMENTOS MAYORES					
			N	P	N/P	K	Ca	Mg
38	Bloque I+II+III	0	1,56	0,06	26,0	0,40	0,28	0,11
39	Bloque I+II+III	T1	1,14	0,06	19,0	0,44	0,32	0,13
40	Bloque I+II+III	T2	1,19	0,07	17,0	0,51	0,30	0,13
344	Bloque I+II+III	T3	1,39	0,09	15,4	0,53	0,30	0,12

ELEMENTOS MENORES				
Fe	Mn	Cu	Zn	B
ppm				
199	239	4,3	15	18
127	224	3,6	13	16
172	259	3,7	11	16
92	223	4,1	13	31

VALORES GENERALES DE REFERENCIA PARA *Pinus radiata*

	<1,2	<0,12	<0,30	<0,10	<0,07
BAJO					
MARGINAL	1,2-1,5	0,12-0,14	0,30-0,50	0,10	0,07-0,10
SATISFACTORIO	>1,5	>0,14	>0,50	>0,10	>0,10
INSATISFACTORIO			<8 y >12		

<30	<10	<2	<10	<8
30-40	10-20?	2-4	10-20	8-12
>40	>20?	>4	>20	>12

VALORES GENERALES DE REFERENCIA PARA *Eucalyptus globulus*

	1,8	0,11	12	0,7	0,5	0,15
BUENO						
CRITICO	1,2	0,08	>15	0,4	0,3	0,08

50	100	7	15	15
30	40	4	8	10

COMENTARIOS

OBSERVACIONES

LOS VALORES DE REFERENCIA TIENEN SOLO CARACTER DE ORIENTACION.  
 PARA LA INTERPRETACION SE SUGIERE CONSULTAR A UN ESPECIALISTA O DOCUMENTARSE SOBRE EL PARTICULAR TECNICAS ANALITICAS UTILIZADAS:  
 Calcinación a 500°C durante 7 horas y posterior extracción con HCl 10% para macro y microelementos.  
 Extracción Kjeldahl para Nitrógeno total.

Gisela Romeny K.  
 Jefe de Laboratorio

## **ANEXO 6**

**Cuadro resumen de los análisis morfológicos por tratamiento realizado a las plantas de *Nothofagus dombeyi***

Variables	Tratamientos promedios				ANOVA	
	TT	T50	T100	T150	Valor F	P
Tamaño foliar (cm <sup>2</sup> )	3,67 b	3,72 b	4,73 a	4,66 a	10,338	0,0001
Peso húmedo área foliar (grs)	0,42	0,40	0,55	0,52	1,708	0,242
Peso seco área foliar (grs)	0,22	0,21	0,28	0,27	4,722	0,035
Peso húmedo ramas (grs)	3,06	2,42	4,12	7,23	3,622	0,065
Peso seco ramas para (grs)	1,58	1,30	2,13	3,47	3,926	0,054
Peso húmedo foliar (grs)	6,49 a	6,77 ab	9,62 ab	14,02 a	4,524	0,039
Peso seco foliar (grs)	3,23	3,32	4,51	6,55	3,997	0,052
Peso húmedo para toda de la rama (grs)	2,01 b	1,86 b	2,80 ab	4,36 a	8,755	0,0001
Número de hojas para 10 cm de rama (n°)	19,33 b	37,33 ab	35,86 ab	48,36 a	5,432	0,002

Valores con letras diferentes difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ), según la prueba de Tukey.