

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO VOLUMÉTRICOS EN
ENSAYOS DE PLANTACIÓN DE *Nothofagus obliqua* Y *Nothofagus alpina* AL
APLICAR INTERVENCIONES SILVÍCOLAS**

**Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal**

NIRKOS ANTONIO GUTIERREZ FLORES

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dr. Sergio Donoso Calderón

**SANTIAGO – CHILE
2004**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO VOLUMÉTRICOS EN
ENSAYOS DE PLANTACIÓN DE *Nothofagus obliqua* Y *Nothofagus alpina* AL
APLICAR INTERVENCIONES SILVÍCOLAS**

**Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal**

NIRKOS ANTONIO GUTIERREZ FLORES

Calificaciones:

Prof. Guia Sr. Sergio Donoso C.	7,0	_____
Prof. Consejero Sr. Gustavo Cruz M.	6,5	_____
Prof. Consejero Sr. Antonio Vita A.	6,7	_____

SANTIAGO – CHILE
2004

A MI PADRE (Q.E.P.D.)

A MARTÍN (Q.E.P.D.)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy sinceramente a todos quienes hicieron posible de una u otra manera el desarrollo y conclusión de este trabajo, muy especialmente a:

mi profesor guía, don Sergio Donoso Calderón, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo y por su gran disposición e infinita paciencia

mi madre, mi esposa Kathy y mis hijos Camila y Nicolás, todos ellos pilares fundamentales de mi vida e incentivo constante para finalizar este trabajo

mi gran amigo Rodrigo, camarada incondicional en esta etapa de mi formación profesional, por su compañía e insistencia

mis amigotes: José Luis, Mario, Topo, por su preocupación y constante “picaneo” para acabar este trabajo

la Naturaleza, fuente de inspiración de mi vida

RESUMEN

Se estudió el estado actual, el crecimiento y el rendimiento de ensayos de plantación establecidos hace tres décadas en Frutillar, Provincia de Llanquihue, X Región de Los Lagos, Chile. Los estudios se realizaron sobre dos ensayos de plantación de roble (*Nothofagus obliqua*), uno de 31 años y el otro de 38 años, y sobre un ensayo de plantación de raulí (*Nothofagus alpina*) de 39 años. Los ensayos habían sido intervenidos anteriormente en forma irregular; la última intervención importante se habría realizado unos 15 años antes de este estudio.

Se establecieron parcelas de 1.332 m², 495 m² y 744 m² respectivamente, en las que se muestrearon árboles de todo el rango de dispersión diamétrica. Los ensayos presentaron densidades de 631, 996 y 820 árboles por hectárea para roble de 31 años, roble de 38 años y raulí de 39 años respectivamente. La mayor altura dominante la registró el ensayo de roble de 38 años, con 24,4 metros, seguido por el de roble de 31 años con 22,7 metros y por el de raulí, que registró una altura dominante de 20,5 metros. Roble de 31 años registró un diámetro cuadrático medio (DCM) de 25 cm, el ensayo de roble de 38 años registró 20,5 cm de DCM, y el ensayo de raulí de 39 años, registró 21,8 cm de DCM. En las tres situaciones más de la mitad de los árboles no supera los 25 cm de diámetro, siendo la clase diamétrica de 20 a 25 cm la que presentó mayor número de árboles por hectárea.

El crecimiento medio anual en altura evaluado en los ensayos de plantación fue de 0,51 cm en roble de 31 años, 0,50 cm en el ensayo de roble de 38 años y de 0,33 cm en el de raulí de 39 años. El crecimiento medio anual en diámetro fue de 0,7 cm en el ensayo de roble de 31 años, 0,5 cm en el de roble de 38 años y de 0,4 cm en el de raulí de 39 años. El crecimiento anual periódico en volumen para los últimos 10 años manifestó una tendencia semejante entre las situaciones estudiadas; sin embargo, el ensayo de raulí registró tasas menores a las de roble.

Esta última especie registró una tasa de 20 m³/ha/año, en tanto que la primera registró 12,5 m³/ha/año.

Antes de la intervención el ensayo de plantación de roble de 31 años presentó volúmenes bruto y aprovechable de 343,2 m³/ha y 340,5 m³/ha respectivamente. En el caso del ensayo de roble de 39 años se registraron volúmenes bruto y aprovechable de 369,8 m³/ha y 356,9 m³/ha respectivamente. Para raulí el volumen bruto medido fue de 294,3 m³/ha y el volumen aprovechable de 285,4 m³/ha.

La intensidad de la intervención en porcentaje de árboles por hectárea fue de 27% en el caso del ensayo de roble de 31 años, 22% para el ensayo de roble de 38 años y de 34% para el ensayo de raulí de 39 años. El DCM no varió sustancialmente luego de la intervención realizada sobre los ensayos de plantación estudiados.

Del ensayo de plantación de roble de 31 años se extrajeron 92,8 m³/ha aprovechables, de los cuales 22,8 m³/ha corresponden a madera aserrable. En el ensayo de roble de 38 años se obtuvieron 89,8 m³/ha de madera aprovechable, de los cuales 20,8 m³/ha corresponden a madera aserrable. Del ensayo de raulí de 39 años, se extrajeron 106,5 m³/ha de madera aprovechable, con 37,3 m³/ha de madera para aserrar.

SUMMARY

Current state, growth and yield of plantation trials were studied, which were established three decades ago in Frutillar, Llanquihue Province, X Region, Chile. The studies were carried out on two trials of roble plantation (*Nothofagus obliqua*), they were 31 and 38 years old, and on a trial of raulí plantation (*Nothofagus alpina*), which was 39 years old. The plantations had been cutted previously in irregular form; the last significant intervention would have been carried out around 15 years before this study.

The plots were established with 1.332 m², 495 m² and 744 m² respectively, in which trees of the whole diametric range dispersion were sampled. The trials presented densities of 631, 996 and 820 trees per hectare for 31 and 38 years old in roble and 39 years old in raulí respectively. The highest dominant height has been registered in the trial of 38 years old in roble, with 24,4 meters, it was followed by the other roble trial with 31 years old, it had 22,7 meters and by raulí, it registered a dominant height of 20,5 meters. Roble trial with 31 years old registered a mean quadratic diameter of 25 cm; roble trial, with 38 years old, registered 20,5 cm of mean quadratic diameter, and raulí trial with 39 years old registered 21,8 cm of mean quadratic diameter. In the three situations more than half of the trees didn't overcome the 25 cm diameter; the diametric class from 20 to 25 cm was the greatest with more numbers of trees by hectare.

The mean annual increments in height of the plantation trials were of 0,51 cm in roble trial with 31 years old, 0,50 cm in roble trial with 38 years old and of 0,33 cm in raulí trial of 39 years old. The mean annual increments in diameter were of 0,7 cm in roble trial of 31 years old, 0,5 cm in roble with 38 years old and of 0,4 cm in raulí trial with 39 years old. The periodical annual increments in volume for the last 10 years manifested a similar trend among the studied situations, however the raulí trial registered smaller rates than roble trials. This last specie registered a rate of 20 m³/ha/year, while the first one registered 12,5 m³/ha/year.

Before intervention, roble plantation trial with 31 years old presented gross and profitable volumes of 343,2 m³/ha and 340,5 m³/ha respectively. In case of roble trial of 39 years old registered a gross and profitable volumes of 369,8 m³/ha and 356,9 m³/ha respectively. The measured gross volume for raulí was of 294,3 m³/ha and the profitable volume of 285,4 m³/ha.

The intensity of the intervention in percentage of trees by hectare were of 27% in case of roble trial with 31 years old, 22% for roble trial with 38 years old and of 34% for raulí trial with 39 years old raulí. Mean quadratic diameter didn't vary substantially after the intervention carried out on the studied plantation trials.

92,8 m³/ha profitable were extracted from roble plantation trial with 31 years old, which 22,8 m³/ha correspond to saw wood. From roble trial with 38 years old were obtained 89,8 m³/ha of wooden profitable, which 20,8 m³/ha correspond to saw wood. From raulí trial with 39 years old, 106,5 m³/ha profitable wooden were extracted, with 37,3 m³/ha wooden to saw.

1. INTRODUCCIÓN

Hacia fines de los años 60 el bosque nativo chileno representaba la principal fuente de recursos para el sector forestal nacional. La intensa sobreexplotación selectiva así como las extensas quemadas para despejar terrenos, lo alteraron severamente. Las posteriores políticas de incentivo a la forestación, como fue el Decreto Ley 701 de 1974, así como los mejores perspectivas de rendimientos de especies exóticas, frenaron este proceso a la vez que permitieron que los silvicultores postergaran a las especies nativas por otras como el pino insignis, eucaliptos y álamos (CERDA, 1998).

En los últimos 50 años se han implementado diversas experiencias demostrativas con especies nativas con el fin de intentar integrar éstas a la producción forestal. Entre tales tentativas se cuentan ensayos y proposiciones de esquemas de manejo, tanto para renovales como para plantaciones. Sin embargo, estas pruebas y prácticas no han conseguido llamar del todo la atención de los propietarios o productores forestales como para incluir mayores superficies plantadas o manejadas con las especies nativas de mayor valor. La principal causa de tal fenómeno radica básicamente en que especies como roble, raulí, ulmo y coigüe presentan rotaciones que pueden superar ampliamente a las de especies de rápido crecimiento, principalmente traídas de otros países; de esta manera, más arriesgado o menos atractivo parece ser para los propietarios forestales el establecimiento y manejo silvícola de plantaciones de especies nativas (CERDA, 1998).

En general, los antecedentes recopilados señalan que la mayoría de las experiencias sobre plantaciones no superan los 20 años. De esta manera, la información existente hasta este momento aparece como un conjunto de respuestas parciales del crecimiento de éstas y no como resultados finales de estos ensayos. Estas tentativas, si bien es cierto han entregado diversos resultados, no pueden dejarse en el olvido, puesto que reflejan esfuerzos importantes por apoyar la diversificación de la producción forestal, así como aumentar la producción de maderas nobles y la generación de productos de mayor valor agregado.

En este contexto, se plantea la necesidad de generar información acerca del crecimiento, rendimiento y resultados de un raleo en plantaciones ya intervenidas de *Nothofagus* spp,

en estado de desarrollo avanzado. Así, el objetivo general de este estudio fue “Evaluar las existencias actuales y el crecimiento en ensayos de plantación de *Nothofagus obliqua* (roble) y *Nothofagus alpina* (raulí) y el rendimiento volumétrico al aplicar intervenciones silvícolas”, teniendo por objetivos específicos los siguientes:

- Estudiar el desarrollo en altura, diámetro y volumen de plantaciones intervenidas de roble y raulí, a través de los años.

- Estimar los volúmenes resultantes de las intervenciones que se aplicaron en los diferentes ensayos de plantación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

De las especies del bosque nativo chileno, los *Nothofagus* sobresalen como las máspreciadas y explotadas en Chile; además de lenga (*Nothofagus pumilio*), roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) constituyen dos de las especies nativas más importantes del sector forestal nacional (CERDA, 1998).

CONAF/INFOR (1998a) señala a raulí como la especie nativa con mayores tasas de crecimiento, sólo pudiendo ser superada por coigüe (*Nothofagus dombeyi*) en algunas situaciones; en general, según VITA (1977), roble y raulí manifiestan crecimientos relativamente semejantes, destacándose este último en aquellas situaciones en que se encuentra en sectores más adecuados. DONOSO *et al.* (1993b), en un estudio sobre zonas de crecimiento, mencionan que roble manifiesta crecimientos más altos que raulí en las mejores zonas, pero que raulí tiene crecimientos más uniformes.

2.1. Antecedentes generales de roble

Roble ha sido una de las especies nativas más cosechadas en Chile debido, entre otras causas, a que los bosques gozaban de mayor accesibilidad. El atractivo de la madera de roble radica en que presenta valiosas propiedades mecánicas y gran durabilidad, lo que admite darle diversos usos. Una característica silvícola que destaca de roble es la buena calidad de la poda natural, lo que permite plantarlo a densidades iniciales no muy altas, obteniéndose así madera de mayor calidad (CONAF, 1998).

2.1.1. Descripción general

Roble es una especie monoica, caduca e intolerante, de corteza gruesa y agrietada en placas irregulares en los ejemplares adultos. Presenta un tronco relativamente recto y cilíndrico, libre de ramas. En las poblaciones más abundantes del sur del país, roble puede alcanzar hasta los 40 m de altura y cerca de dos metros de diámetro, siendo las dimensiones más usuales 20 a 25 m de altura y 40 a 50 cm de diámetro (DONOSO, 1974; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; SERRA, 2001).

La madera de roble presenta una albura rosada amarillenta, poco resistente a la intemperie, el característico duramen es rojizo, llamado "pellín", con un alto contenido de taninos, que lo hace muy durable (RODRIGUEZ *et al.* , 1983).

2.1.2. Distribución y hábitat

La superficie que cubren los tipos forestales en que predomina roble alcanza aproximadamente 1.649.000 ha, entre las que se encuentran bosques adultos y renovales, puros o mixtos. *Nothofagus obliqua* se distribuye entre los 33° 57' S y los 41° 10' S (SERRA, 2001).

La especie se encuentra desde la Provincia de Colchagua (VI Región) hasta la Provincia de Llanquihue (X Región) por la Cordillera de Los Andes y entre el valle del río Aconcagua (V Región) y la Provincia de Osorno (X Región) por la Cordillera de La Costa. En el Valle Central puede encontrarse también entre Malleco (IX Región) y Llanquihue (X Región) (DONOSO, 1974).

En general, roble se encuentra en sectores de suelos profundos y fértiles, como trumaos o de humus bien conformados (RODRIGUEZ *et al.* , 1983); sin embargo, puede adaptarse bien a condiciones menos propicias (DONOSO, 1974). En su distribución más septentrional habita en quebradas y orillas de esteros, además de encontrarse como bosques achaparrados puros sobre los 1.000 y hasta los 2.000 msnm (Loncha, Aculeo, El Roble). En las condiciones húmedas de esta distribución, como fondos de valle y quebradas, se puede encontrar boldo (*Peumus boldus*), peumo (*Cryptocarya alba*) y quillay (*Quillaja saponaria*) entre otras especies acompañantes (SERRA, 2001; DONOSO, 1974). En las poblaciones meridionales no sobrepasa los 600 msnm, y se encuentra mezclado con laurel (*Laurelia sempervirens*) y lingue (*Persea lingue*) en los sectores bajos, y con raulí en los sectores de mayor altura (DONOSO, 1974).

De acuerdo con lo indicado por RODRIGUEZ *et al.* (1983) roble se desarrolla muy bien en aquellas zonas que registran sobre 1.500 mm de precipitación anual, pero en los lugares de acumulación abundante de nieve invernal los ejemplares suelen achaparrarse, no superando los 12 m de altura. DONOSO *et al.* (1993b) menciona que los renovales de roble existentes requieren de precipitaciones abundantes, sobre los 1.500 mm al año,

pudiendo sobrevivir sin períodos secos, y con temperaturas que oscilen entre 10 y 20° C en el período de crecimiento.

2.1.3. Usos

Debido a sus buenas características mecánicas y durabilidad se le dan diversos usos, como en estructuras de edificaciones, postes de alumbrado, estructuras de embarcaciones, carpintería, mueblería, chapas y otros (DONOSO, 1974; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; SERRA, 2001). Según lo indicado por SERRA (2001) los ejemplares adultos con la madera "apelinada" son los más valiosos por el tono rojizo, dureza, peso y alta resistencia a la intemperie.

2.2. Antecedentes generales de Raulí

Raulí ha manifestado ser una especie propicia al manejo, con buenos resultados de crecimiento (SERRA, 2001); en este sentido una característica que hace al raulí atractivo para la producción es su forma, con un fuste recto y buena poda natural (VITA, 1974). Por otra parte, las características tecnológicas y estéticas de la madera de raulí le dan un alto valor respecto de otras; se la reconoce, además, como una madera de fácil elaboración. (CONAF/INFOR, 1998a).

2.2.1. Descripción general

Al igual que roble, raulí es una especie monoica y caducifolia, de comportamiento marcadamente intolerante cuando adulto; su corteza es firme, gris oscura y agrietada longitudinalmente en forma homogénea. Raulí presenta habitualmente un fuste recto, largo y bastante cilíndrico, con escasos nudos y una copa rala. Aunque la altura habitual es de unos 25 m, los ejemplares de esta especie pueden crecer hasta los 40 m de altura y más de dos metros de diámetro (DONOSO, 1974; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; SERRA, 2001). Se muestra muy hábil en la regeneración de tocón o de raíces, método de propagación habitual en su distribución más septentrional (SERRA *et al.* , 2002).

La madera de esta especie tiene un fuerte contraste entre la albura, de colores entre amarillo suave y rosado blanquecino, y el duramen, de tonos rojizos o café castaño. La

madera es más liviana y de menor durabilidad natural que la de roble. (DONOSO, 1974; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; SERRA *et al.* , 2002).

2.2.2. Distribución y hábitat

Existe en Chile una superficie cercana a las 300.000 ha cubiertas por renovales de raulí (SERRA, 2001). Las poblaciones de raulí se encuentran desde los 35° S, al sur del río Teno, provincia de Curicó, hasta los 41° 15' S, provincia de Osorno (MARTINEZ, 1993; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; DONOSO, 1974).

Por la Cordillera de la Costa, se le puede ubicar desde la ribera norte del río Itata hasta la provincia de Valdivia, en sectores altos, en tanto que por la Cordillera de Los Andes se le puede encontrar desde el río Teno, Provincia de Curicó, hasta el sur de la Provincia de Valdivia. Raulí es especialmente abundante en el sector andino de la provincia de Valdivia, donde se puede encontrar cerca del 80% de la población adulta. Esta especie se presenta también en el sector andino de Argentina (SERRA *et al.* , 2002; MARTINEZ, 1993).

Según lo indicado por RODRIGUEZ *et al.* (1983), raulí se encuentra de preferencia en exposiciones sur, desarrollándose sobre suelos profundos y de buen drenaje (DONOSO, 1974; DONOSO *et al.* , 1991); manifiesta habilidad para desarrollarse en bosques explotados o con suelo fuertemente alterado (SERRA *et al.* , 2002). Esta especie se desarrolla principalmente a altitudes medias entre los 300 y los 1.200 msnm, buscando principalmente temperaturas bajas o moderadas (DONOSO *et al.* , 1991; SERRA, 2001).

En las altitudes intermedias y menores raulí se asocia con roble o coigüe, formando renovales mixtos con sotobosques espesos de quillay y peumo entre otras especies perennifolias, poblaciones originadas en intensas explotaciones anteriores (SERRA, 2001).

Frecuentemente, raulí se encuentra también asociado con ulmo (*Eucryphia cordifolia*), tepa (*Laurelia philipiana*), lingue, y otras especies. A mayores altitudes se le puede encontrar junto a lenga en formaciones de transición (MARTINEZ, 1993; RODRIGUEZ *et al.* , 1983; DONOSO, 1974).

DONOSO *et al.* (1991) indican que para la distribución más septentrional de raulí, éste se desarrolla en climas mediterráneos templados, con precipitaciones de 1.000 a 1.500 mm al año y verano seco, y para la distribución más meridional lo hace bajo clima templado húmedo lluvioso, con precipitaciones entre los 4.000 y 5.000 mm anuales. RODRIGUEZ *et al.* (1983) indican que raulí es una especie bien adaptada a las bajas temperaturas. Sin embargo, DONOSO *et al.* (1991) mencionan como adecuadas a temperaturas moderadas a levemente bajas y SERRA (2001) señala que las bajas temperaturas son un factor limitante para raulí, al igual que las fuertes fluctuaciones térmicas y los prolongados períodos secos.

2.2.3. Usos

Como se ha mencionado, a causa de su atractivo estético y fácil secado y elaboración la madera de raulí es muy requerida como madera aserrada, en carpintería y tornería, para ser usada en muebles, puertas, ventanas, parquet, construcción y revestimiento de viviendas, tejuelas y embarcaciones, entre otros usos de alto valor (SERRA *et al.* , 2002; RODRIGUEZ *et al.* , 1983).

2.3. Antecedentes de crecimiento para roble y raulí

2.3.1. Plantaciones

Roble y raulí manifiestan comportamientos particulares en sus crecimientos. Por una parte roble registra tasas que no superan a las de raulí, pero sí distribuidas en un rango geográfico más amplio; raulí, debido a su distribución más restringida, presenta zonas geográficas de alta productividad muy localizadas en tanto que en los márgenes y fuera de sus distribución natural esos valores decaen fuertemente.

Para la variable altura, en el sector Santa Luisa del fundo Jauja, se evaluaron crecimientos 45% mayores para roble respecto de raulí. Los valores que se registraron se encuentran en torno a los 0,75 m para las plantaciones de roble en su primer período vegetativo, usando fertilizante y de 0,24 m para las plantaciones de raulí (GROOSE, 1988). Sobre plantaciones de raulí de mayor edad, entre ocho y trece años, ubicadas en la localidad de Neltume, el mismo autor registró crecimientos medios de 0,3 a 1,0 m/año

en altura y de entre 0,4 y 1,3 cm/año para el diámetro a la altura del pecho (GROOSE, 1987).

Para plantaciones de raulí de diferentes edades situadas en la Reserva Forestal Edmundo Winkler de Frutillar, VITA (1974) menciona tasas de crecimiento anual medio en altura que fluctuaron entre 0,3 y 0,7 m/año; en tanto que para DAP menciona valores entre 0,4 y 1,3 cm/año. Para las mismas plantaciones, dos años más tarde se realizó una nueva medición, en que el CAM (crecimiento anual medio) para raulí se mantuvo constante; sin embargo, se manifestó un leve incremento en la plantación de más edad (VITA, 1977). El autor señala que las plantaciones de roble de la Reserva, de no más de 14 años, presentaron tasas de crecimiento en altura en que algunos casos superaron los 0,5 m/año (cuadro 1). El autor citado indica que los crecimientos registrados por *Nothofagus alpina* en las plantaciones de Frutillar son menores en relación con *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus dombeyi*, debido a que raulí se encuentra más al sur de su rango natural de distribución.

Renovales y plantaciones de raulí ubicadas más al norte y dentro de su distribución natural registran crecimientos marcadamente mayores a los expuestos más arriba. Es así como en plantaciones puras de raulí de entre 10 y 38 años establecidas entre las provincias de Cautín y Valdivia, se registraron tasas de crecimiento anual medio que fluctuaron entre 0,67 y 1,18 cm/año para el DAP y entre 0,49 y 0,93 m/año para la altura (DONOSO *et al.* , 1993a).

El CAM en altura más bajo registrado en las plantaciones evaluadas por el autor mencionado corresponde a la plantación de mayor edad, de 38 años. Las otras plantaciones, de entre 10 y 18 años, registraron incrementos de a lo menos 0,64 m/año. La única plantación pura de roble, de 14 años y establecida en el sector de Palguín, Comuna de Pucón, registró elevadas tasas de crecimiento, con valores de 0,94 cm/año para DAP y 0,91 m/año para altura.

Cuadro 1: Antecedentes de crecimiento en plantaciones de *Nothofagus*.

Especie	Ubicación	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	Altura media	Crecimiento Anual Medio	
					Altura (m/año)	DAP (cm/año)
<i>Nothofagus obliqua</i>	Frutillar (1)	5	1667	0,80	0,20	–
	Frutillar (1)	11	–	5,20	0,50	0,70
	Frutillar (1)	14	–	8,60	0,60	0,40
	Riñihue Ro-Ra-UI (4)	14	1035	7,58	0,63	0,69
<i>Nothofagus alpina</i>	Llancacura (3)	15	–	11,00	0,70	1,30
	Frutillar (3)	4	652	1,10	0,30	–
	Frutillar (3)	12	996	3,80	0,30	0,40
	Rucatayo (2)	10	1193	8,40	0,84	0,92
	Quechumalal 2 (2)	16	1392	13,86	0,92	0,84
	Quechumalal 5 (2)	17	531	25,00	0,74	0,82
	Molco (2)	14	2000	10,50	0,75	0,88
	Arquihue F (2)	15	1868	9,67	0,64	0,67
	Remeco (2)	15	3333	11,00	0,73	0,85
	Riñihue Ra (4)	13	2046	13,68	0,99	0,79
	Riñihue Ro-Ra-UI (4)	14	685	9,69	0,69	0,73
El Volcán (5)	24	693	11,83 (7)	–	0,70 (6)	

(1) VITA, 1977

(2) DONOSO et al., 1993a

(3) VITA, 1974

(4) DONOSO et al., 1995

(5) ESPINOSA et al., 1988

(6) Entre los 21 y los 24 años

(7) Altura Dominante

En la evaluación realizada por DONOSO *et al.* (1993a) sobre una plantación mixta, de roble, raulí y ulmo de 13 años, en la localidad de Riñihue (X Región), se registraron para el DAP valores de 0,73 cm/año para roble y 0,92 cm/año para raulí; en altura se obtuvieron tasas de 0,78 m/año para roble y 0,86 m/año para raulí. Sobre la misma plantación mixta, un año más tarde DONOSO *et al.* (1995) observaron valores de crecimiento anual medio del DAP de 0,69 cm/año para roble y 0,73 cm/año para raulí. En esta misma situación el crecimiento en altura medido fue de 0,63 m/año para roble y 0,69 m/año para raulí. Los valores registrados señalan por una parte, lo favorable del sitio para raulí, que presenta un desarrollo sustancialmente mayor a roble. En otro sentido, se observa una disminución en las tasas de crecimiento, tanto en altura como en diámetro. Esta situación, añadida a la corta edad de la plantación, sugiere la necesidad de realizar

un raleo; los autores proponen realizar una primera intervención a los 10 años, como edad óptima.

En una plantación de roble y raulí de 25 años, con predominancia de este último y ubicada en la localidad de Pucón, ESPINOSA *et al.* (1988) observaron para raulí tasas de crecimiento anual medio en DAP y altura de 0,70 cm y 0,53 m respectivamente, bastante menores a las registradas en otros sectores, pero levemente superiores a los montos registrados por DONOSO *et al.* (1993a) en la plantación del sector El Volcán, Comuna de Pucón (cuadro 2). El CAM de esta plantación mixta, tanto para altura como para DAP, se encuentra dentro de lo esperado para este tipo de plantaciones. Sin embargo, a los 34 años las tasas de crecimiento fueron menores incluso que la plantación pura del sector El Volcán, midiéndose un CAM de 0,63 cm/año de para diámetro y 0,41 m/año para altura. Se evidencia con esto que el crecimiento ya alcanzó el máximo y posteriormente se ha desacelerado.

2.3.2. Renovales

En el caso de los renovales, se cuenta con registros de rodales con edades en torno a los 35 a 40 años. En la localidad de Panguipulli, renovales mixtos con predominancia de roble y de unos 40 años de desarrollo, presentaron crecimientos anuales medios de entre 0,50 y 0,72 cm/año para el DAP, en tanto que para la altura registraron crecimientos anuales medios de entre 0,49 y 0,65 m/año (DONOSO *et al.*, 1993a). En renovales mixtos con predominancia de raulí, el CAM evaluado osciló entre 0,59 y 0,86 cm/año para DAP y entre 0,47 y 0,68 m/año para la altura (cuadro 2).

Por su parte, renovales puros de raulí ubicados en las comunas de Panguipulli y Pucón, registraron tasas de crecimiento medias que fluctuaron entre los 0,49 y los 0,75 cm/año para el DAP y de 0,49 a 0,65 m/año para la altura (DONOSO *et al.*, 1993a), valores menores que los medidos en los renovales mixtos. Las diferencias obtenidas pueden deberse a que son rodales de distintas condiciones y características y a que han sido sometidos a diferentes intervenciones silvícolas. En este sentido, el rodal con predominancia de roble que manifestó mayores resultados presenta una densidad mucho menor y se encuentra en exposición predominantemente sur.

Cuadro 2: Antecedentes de crecimiento de renovales de *Nothofagus* en las Regiones IX y X.

Especie	Ubicación	Edad (años)	Densidad (árboles/Ha)	Crecimiento Anual Medio	
				Altura (m/año)	DAP (cm/año)
<i>N alpina</i> (m)	Remeco (1)	39	392	0,68	0,86
	El Trufe (1)	32	857	0,92	0,84
	Miraflores (1)	27	1352	0,62	0,55
	Radal 7 Tazas (2)	47	1790	0,51	0,73
<i>N alpina</i> (p)	Casas Viejas (1)	38	638	0,65	0,61
<i>N obliqua</i> (m)	Huilo Huilo (1)	42	835	0,49	0,50
	Radal 7 Tazas (2)	47	960	0,36	0,49

m: renoval mixto con predominancia de la especie indicada

p : renoval puro de la especie indicada

(1) DONOSO *et al.*, 1993a.

(2) DONOSO, 1988

Para los renovales con predominancia de raulí los montos mayores se obtuvieron en el sector de Remeco, y los menores en el sector de Cancha Larga, comuna de Panguipulli (cuadro 2); el último corresponde a un renoval de densidad cuatro veces mayor y cinco años menor que el primero. DONOSO *et al.* (1993a) señalan que, en general aquellos renovales originados en deslizamientos o a causa de incendios, por lo tanto establecidos a campo abierto, manifestaron un desarrollo marcadamente mayor antes de los 20 años, en comparación con aquellos originados bajo dosel; así mismo para aquellos rodales desarrollados bajo dosel, los autores señalan la necesidad de disminuir la densidad a edad más temprana que los desarrollados a campo abierto.

DONOSO (1988), en renovales mixtos de roble del área de protección Radal 7 Tazas, registró tasas medias de crecimiento que alcanzan los 0,65 cm/año para el diámetro (28 años) y 0,58 m/año para la altura (47 años); el autor indica que estos valores confirman la predisposición de roble a desarrollarse más favorablemente en exposiciones sur y bajo los 1.100 msnm; señala, además, que son los rodales más jóvenes los que manifiestan un crecimiento diametral mayor.

De dos renovales analizados en el Área de Protección “Radal 7 Tazas”, DONOSO (1988) obtuvo mayores tasas de crecimiento en la situación de renoval mixto roble – raulí, con 0,73 cm/año para DAP y 0,51 m/año para altura, contra los 0,47 cm/año para DAP y 0,41 m/año para altura en el renoval mixto de raulí–laurel. Debe indicarse que el renoval de roble–raulí se encuentra en condiciones más favorables de sitio que el de raulí–laurel.

En renovales puros de roble de 42 años, para los últimos 10 años se han observado tasas de crecimientos en diámetro de 0,45 cm/año, con un valor máximo de 0,79 cm/año entre los 20 y 30 años (CASTILLO, 1992). Para el mismo estudio, en el caso de la variable altura, el crecimiento registrado para los últimos 10 años se encuentra entre 0,48 y 0,61 m/año, y el máximo cercano a los 0,75 m/año entre los 16 y 20 años.

GROOSE (1989) señala que, sobre la base de proyecciones realizadas considerando intervenciones en sucesivas ocasiones sobre renovales mixtos del área de Neltume, se pueden obtener diámetros medios finales que oscilan entre los 30 y los 51 cm para especies de *Nothofagus*, entre las que se cuentan roble y raulí. El autor indica, además, que en este lugar raulí manifiesta crecimientos mayores a los de roble, coigüe y tepa.

2.4. Antecedentes volumétricos

Según DONOSO *et al.* (1991) roble y raulí manifiestan, en general, crecimientos semejantes entre sí, estimando volúmenes de 360 y 480 m³/ha para plantaciones de 30 y 40 años respectivamente, en sitios regulares, y de 540 m³/ha para plantaciones de 30 años en sitios buenos. En general, para roble y raulí se esperan crecimientos en torno a los 10 m³/ha/año (cuadro 3).

Evaluando plantaciones juveniles no intervenidas de especies de *Nothofagus*, DONOSO *et al.* (1993a) registraron volúmenes superiores a 150 m³/ha para plantaciones mixtas de roble y raulí, de 174 m³/ha para una plantación pura de roble de 14 años y de entre 115 y 450 m³/ha para plantaciones puras de raulí de más de 14 años. Las dos plantaciones de volúmenes más altos corresponden a las de El Volcán y Quechumalal 5, con edades de 38 y 17 años, respectivamente.

En el caso de la productividad, se registraron valores de entre 10 y 12 m³/ha/año para plantaciones mixtas con roble y raulí; para plantaciones puras de raulí se midieron valores diversos entre 3,5 y 16,5 m³/ha/año y para roble puro se registró un elevado CAM, cercano a los 13 m³/ha/año. Los autores proponen raleos a edades relativamente tempranas, al menos a los seis años para la primera intervención y desde los 12 para la segunda intervención (DONOSO *et al.*, 1993a).

Cuadro 3: Parámetros volumétricos de plantaciones de *Nothofagus*

Especie	Ubicación	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	Volumen Bruto (m ³ /ha)		Fuente
				Acumulado	CAM	
<i>Nothofagus obliqua</i>	Palguín	14	1440	174,8	12,5	DONOSO <i>et al.</i> , 1993a
Mixto	Arquihue G	15	738	159,1	10,5	DONOSO <i>et al.</i> , 1993a
(<i>N obliqua</i> - <i>N alpina</i>)	Riñihue (1)	13	3150	156,5	12,0	
	Riñihue (2)	14	2300	65,4	13,0 (4)	DONOSO <i>et al.</i> , 1995
	El Volcán	34	693	171,7	12,2 (3)	ESPINOSA <i>et al.</i> , 1988
	Riñihue	13	2650	186,7	13,8	
	Quechumalal 2	16	1392	142,7	8,9	
	Quechumalal 4	14	1780	168,6	12,0	
<i>Nothofagus alpina</i>	Quechumalal 5	17	531	450,6	-	DONOSO <i>et al.</i> , 1993a
	Enco	15	671	115,2	7,7	
	Chan Chán	18	1111	197,7	10,9	
	El Volcán	38	876	462,8	9,4	
	Riñihue 2	13	2046	197,1	28,0 (4)	DONOSO <i>et al.</i> , 1995

(1) Plantación, 43% roble, 35% raulí, 22% ulmo.
(2) Plantación, 45% roble, 30% raulí, 25% ulmo.

(3) Últimos 10 años
(4) Últimos 3 años.

ESPINOSA *et al.* (1988) registraron valores de 49 y 170 m³/ha en dos controles para una plantación no intervenida de raulí en la localidad de Pucón. El primer control fue realizado a los 24 años y el segundo a los 34 años, resultando una productividad de 12,2

m³/ha/año. El autor señala, además, que los resultados son equivalentes a las tasas de crecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* en clase de sitio III.

GROOSE (1989), realizando proyecciones para renovales mixtos (roble, raulí, coigüe y tepa) en el área de Neltume, indica que, para raulí de 36 años, se conseguirán incrementos en volumen de 22,4 m³/ha/año, extrayendo un volumen estimado de 647 m³/ha en cuatro intervenciones parciales y una corta final en un período de 20 años. De la misma manera, para roble de 31 años, se puede obtener una tasa de incremento volumétrico de 10,3 m³/ha en cuatro intervenciones parciales y una corta final, en 20 años.

DE CAMINO y DRAKE (1977) presentan volúmenes en pie para renovales de *Nothofagus* no intervenidos, que oscilan entre 194,2 y 516,5 m³/ha, en tanto registraron tasas de crecimiento anual medio entre 5,4 y 18,5 m³/ha/año. En este mismo estudio señalan que plantaciones de *Nothofagus* realizadas en Gran Bretaña registraron crecimientos anuales medios excepcionales, de hasta 18 m³/ha/año, con máximos alcanzados a los 27 años en las mejores clases de rendimiento.

DONOSO (1988) obtuvo resultados variables para el crecimiento en volumen de renovales, en el Área de Protección "Radal 7 Tazas". Sin embargo, en renovales que se presentan como puros o mixtos de roble y raulí, se alcanzó una productividad media de 13 m³/ha/año, con volúmenes en pie que oscilan entre 96,37 m³/ha y 387,35 m³/ha; este último, en el rodal mixto de roble y raulí.

DONOSO *et al.* (1993a) registraron para renovales de raulí, en torno a los 30 años en la provincia de Valdivia, volúmenes brutos entre 176 y 257 m³/ha; para renovales mixtos, de roble y raulí se registraron valores que van de 170 a 376 m³/ha. Los autores indican, además, que realizando en general dos raleos antes de la corta final pueden conseguirse volúmenes entre 403 y 454 m³/ha en la cosecha final, además del volumen extraído en las intervenciones previas; este valor varía según la zona en que se encuentre situado el rodal.

DE CAMINO *et al.* (1974), fijaron rotaciones de entre 60 y 80 años para obtención de madera aserrada de renovales de roble-raulí, en las provincias de Malleco y Cautín,

estimando rendimientos de 400 m³/ha en la corta final, más 300 m³/ha por raleos para 60 años de rotación y 400 m³/ha para 80 años de rotación.

2.5. Funciones de volumen

Es sabida la utilidad de expresiones matemáticas para estimar valores dendrométricos en forma rápida y eficiente. El volumen fustal se considera en función del diámetro del fuste, la altura y el factor de forma. Es así como las funciones de volumen permiten conocer mediante mediciones y cálculos sencillos el volumen de madera en pie.

Existen diferentes tipos de modelos de volumen, desde tablas de volumen hasta algoritmos matemáticos o funciones, y permiten el cálculo de volúmenes brutos, netos, por productos, a un diámetro comercial, y otros (PRODAN *et al.*, 1997; SCHUMACHER y HALL, 1933).

De acuerdo a lo indicado por PRODAN *et al.*, (1997) se pueden considerar funciones de volumen general o de volumen local, según el nivel de aplicación de estas. Las primeras estiman el volumen utilizando dos o más variables, habitualmente el diámetro, altura y en ocasiones una expresión de la forma del fuste (cuadro 4) . Puesto que la relación entre altura y diámetro está explícita dentro de la función estos modelos pueden aplicarse para edades y sitios diversos, dentro de ciertas limitaciones.

Cuadro 4: Casos de funciones generales de volumen de uso en Chile

Autor	Modelo	Uso
DONOSO, P., 1988	$V = 6,97549 \times 10^{-3} + 3,22071 \times 10^{-5} \times D^2 \times H$	Renovales de raulí y roble
PUENTE <i>et al.</i> , 1981	$V = 0,05 + 0,00003151 \times D^2 \times H$	Renovales de roble, rauli coigue
INFOR-CONAF, 1997	$V = 0,001508 + 7,018 \times 10^{-6} \times D^2 + 5,25 \times 10^{-45} \times D^2 \times H + 0,000051 \times D \times H^2 - 0,000148 \times H^2$	Renovales de roble

D: DAP
H: Altura
V: Volumen

Las funciones locales son de aplicación limitada a un área y requieren como variable dependiente al diámetro o una transformación de este, pues consideran implícita la relación altura diámetro (cuadro 5).

Cuadro 5: Casos de funciones locales de volumen de uso en Chile

Autor	Modelo	Uso
PASTUR <i>et al.</i> , 2002	$V = 0,00037605 \times D^{2,17940559}$	Renoval de <i>Nothofagus betuloides</i> , Tierra del Fuego
DONOSO, 1988	$V = 6,02959 \times 10^{-5} \times D^{2,762815}$	Renovales de <i>N obliqua</i> y <i>N alpina</i> , Radal 7 Tazas
GROSSE y CUBILLOS, 1991	$V = -0.03695309 + 0.00075407 * D^2$	Renoval de <i>Nothofagus obliqua</i> , Neltume

D: DAP
V: Volumen

Las funciones locales de volumen, como ya se dijo, utilizan como variable independiente al DAP, pudiendo tener básicamente alguna de las dos formas que se indican:

$$A. \quad Y = a \times X^b$$

$$B. \quad Y = a + b \times X^2$$

Es necesario mencionar que las funciones de volumen conocidas para *Nothofagus* corresponden a mediciones realizadas sobre renovales o bosques naturales y no sobre plantaciones.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Características de la zona del estudio.

3.1.1. Ubicación

Las plantaciones experimentales bajo estudio se encuentran en la Estación Experimental Forestal Edmundo Winkler, de propiedad de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, ubicada en la Comuna de Frutillar, Provincia de Llanquihue, X Región (figura 1); sus coordenadas son 41° 08' S y 73° 01' O.



Figura 1: Ubicación de la Estación Experimental

3.1.2. Clima

En el área se manifiesta un clima Marino Cálido, clasificado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en el Agroclima de Lagos. La estación meteorológica de Futrono registra una temperatura media anual de 13,9 °C, con una media para el mes de enero de 18,7 °C y una media para el mes de julio de 9,2 °C. Se registra un monto anual de precipitaciones en torno a los 1.650 milímetros, distribuidos a lo largo de todo el año

(INIA, 1989). VITA (1977) citando a ALMEYDA y SAEZ (1958), indica que el clima se caracteriza por la influencia moderadora del lago Llanquihue, lo que evita que las temperaturas bajen de -5 °C, ocurriendo nevadas sólo en forma muy ocasional.

3.1.3. Topografía y suelo

En el lugar se presenta una topografía de lomajes suaves, con algunas quebradas más abruptas. El suelo, asociado a la serie Puerto Octay, se originó en cenizas volcánicas depositadas sobre morrenas glaciares (VITA, 1977). Según lo indicado por PERALTA (1971) corresponde a suelos trumaos de lomajes y cerros; son suelos moderadamente profundos, con texturas muy semejantes entre las diferentes profundidades.

3.1.4. Vegetación natural

La vegetación natural del sector está compuesta principalmente por olivillo (*Aextoxicon punctatum*), ulmo (*Eucryphia cordifolia*), tepa (*Laurelia philipiana*), lingue (*Persea lingue*), laurel (*Laurelia sempervirens*), radial (*Lomatia hirsuta*), canelo (*Drimys winteri*), avellano (*Gevuina avellana*), luma (*Amomyrtus luma*), tineo (*Weinmannia trichosperma*), entre otras; existen, además, diversas especies de helechos y trepadoras (VITA, 1977; GAJARDO, 1994).

Según lo indicado por GAJARDO (1994) la vegetación original corresponde al Bosque Laurifolio de los Lagos, dentro de la Subregión del Bosque Laurifolio Valdiviano, característico de las proximidades de lagos de origen glaciar; predominan ulmo, tepa, tineo y coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Según la clasificación de Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile (DONOSO, 1981) la formación vegetacional original corresponde al Tipo Forestal Siempreverde, en que predominan coigüe, tineo, olivillo, tepa y trevo (*Dasyphyllum diacanthoides*).

3.2. Metodología

3.2.1. Parcelas de estudio

Para el análisis se seleccionaron tres ensayos de plantación de *Nothofagus*, dos de roble (31 y 38 años respectivamente, al momento del estudio) y una de raulí (39 años al

momento del estudio); la elección de las plantaciones tuvo como condición fundamental que presentasen un desarrollo y estado sanitario aceptable para el conjunto de plantaciones situadas en la Reserva (cuadro 4).

Cuadro 4: Descripción general de las plantaciones estudiadas.

Especie	Año plantación	Espaciamiento inicial (m)	Exposición	Tamaño parcela (m²)	Número de árboles muestreados
<i>N obliqua</i>	1970	2,0 x 1,5	Plano	1.332	22
<i>N obliqua</i>	1963	2,0 x 1,5	SE	492	20
<i>N alpina</i>	1962	2,0 x 2,0	SE	744	18

Al delimitar las parcelas se estableció una franja en su contorno con el objeto de eliminar el efecto borde.

3.2.2. Muestreo y evaluación de crecimiento

Una vez delimitada la parcela en cada plantación, se realizó la caracterización dasométrica de ellas, midiéndose variables tales como DAP y posición social a todos los árboles; además de altura del dosel superior y variables cualitativas (sanidad, forma). La altura del dosel superior, o altura dominante, se evaluó promediando la altura de los tres árboles más altos por parcela (equivalente a 23, 61 y 40 árboles por hectárea, para roble de 31, roble de 38 y raulí de 39 años respectivamente). Como resultado de esto se obtuvo un conjunto de tablas de rodal, por parcela y especie.

Los tres ensayos de plantación estudiados fueron sometidos a raleo, intervención que se realizó tomando como base la información recogida en los inventarios silvícolas. En cada una de las tres situaciones se procedió a señalar la corta, se determinó la intensidad de ella y el volumen por calidad (aserrable, pulpable y desecho) cosechado.

Sobre la base de la información proporcionada por las tablas de rodal, se seleccionaron, además, árboles distribuidos en todo el rango de dispersión diamétrica y de las cuatro clases sociales, dominante, codominante, intermedio y suprimido (cuadro 4). Estos fueron

volteados y trozados para efectuar volumetría de trozas, análisis de tallo y determinar la sanidad de la madera.

El fuste de cada ejemplar volteado se trozó a intervalos regulares, extrayendo de cada corte una rodela que permitió analizar, en conjunto, el desarrollo en altura, diámetro y volumen de los árboles volteados. Las primeras dos rodelas fueron extraídas a 0,3 y 1,3 metros respectivamente (tocón y DAP), y las siguientes cada 2,5 metros hasta una altura tal que pudiera extraerse una rodela de al menos cuatro centímetros de diámetro.

3.2.3. Estimación de volúmenes

Con la información obtenida del trozado de fustes comerciales se calcularon los volúmenes sin corteza, bruto y neto (aserrable y/o pulpable) de cada árbol muestra, a partir de la adición de los volúmenes de todas las trozas existentes en cada uno de ellos. El volumen bruto de cada troza se calculó mediante la fórmula de Smalian, a excepción del tocón que se asumió como un cilindro. Con estos datos se desarrollaron funciones locales de volumen por árbol, de acuerdo a los tipos:

$Y = a \times X^b$
$Y = a + b \times X^2$

donde:

Y	=	volumen (m ³)
X	=	DAP (cm)
a, b	=	coeficientes

Para el análisis de regresiones se utilizó el programa Statgraphics 2.1.

Se estableció el volumen aprovechable total como el volumen total del ejemplar hasta un límite de utilización de 10 centímetros de diámetro. Así mismo, se definió el volumen

aserrable como el volumen total de cada individuo hasta un límite de utilización de 25 centímetros de diámetro, el volumen pulpable, como la diferencia entre volumen aprovechable y volumen aserrable; el monto restante entre volumen aprovechable y volumen total se consideró como desecho.

Basándose en las funciones se estimaron los volúmenes existentes y extraídos en las intervenciones silvícolas que se realizaron en este estudio.

Posteriormente, con los valores obtenidos del muestreo se estimaron las tasas de crecimiento en altura, DAP y volumen para la plantación. Además, se contrastó la información histórica de los ensayos de plantación con el comportamiento de las curvas de crecimiento.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de los ensayos de plantación

Las tres plantaciones estudiadas, aunque se sitúan dentro de la misma Estación Experimental y a poca distancia una de la otra, se encuentran en diferentes condiciones. Es así como el ensayo de roble de 31 años está establecido en un terreno plano, con un suelo profundo, y próximo a un curso de agua. Esta plantación ha sido sometida a esporádicas limpiezas y eliminación de maleza y sotobosque, puesto que se encuentra a un costado de un vivero; además, manifiesta visiblemente un buen desarrollo tanto en altura como en diámetro.

Por su parte, roble de 38 años y raulí de 39 años, ensayos contiguos entre sí, se encuentran situados a media ladera, en un sector de pendiente moderada a fuerte y con suelo menos profundo. El sotobosque habría sido eliminado solo en raras ocasiones; al momento del estudio estaba conformado principalmente por avellanos, tepas, olivillos y lingues de menor tamaño, además de herbáceas y helechos. Esta situación evidencia un incipiente proceso de reaparición de la vegetación natural.

Los tres ensayos se encontraron en buen estado sanitario, sin observarse ataque de taladradores ni defoliadores nocivos.

De acuerdo a información recabada en la Estación Experimental, se concluyó que los ensayos de plantación abordados han sido intervenidos en varias ocasiones y de manera irregular, tanto en el tiempo como en el espacio; es así como no existen registros claros de fecha ni intensidad de extracción. Según estos datos y de acuerdo al análisis de tallo realizado y a los tocones remanentes, se consideró que la última intervención importante en la plantación de roble de 31 años se habría realizado unos 15 años antes de este estudio; por su parte, en las plantaciones de roble de 38 años y de raulí de 39 años, la última intervención se habría realizado unos 10 años antes de este estudio.

4.1.1. Parámetros iniciales

Al momento de realizarse el estudio los rodales presentaban una cobertura total. Las tres situaciones registraron densidades inferiores a los 1000 árboles por hectárea (cuadro 5). De los tres ensayos estudiados, Roble de 31 años fue el que registró la menor densidad; esta diferencia se debe a que por registrar mayores tasas de crecimiento que las otras situaciones, fue raleada más fuertemente en ocasiones anteriores ¹.

Cuadro 5: Parámetros dasométricos en la condición inicial de las plantaciones.

Ensayo	Edad (años)	Árboles por hectárea	Altura dominante (m)	DCM (cm)	Rango DAP	Área basal (m ² /ha)
Roble 1970	31	631	22,7	25,0	15,3 – 39,6	30,9
Roble 1963	38	996	24,4	20,9	11,9 – 34,9	34,1
Raulí 1962	39	820	20,5	21,8	14,6 – 32,0	30,7

DCM: Diámetro Cuadrático Medio

Roble de 38 años registró la mayor densidad de las tres plantaciones, evidenciando una menor intensidad de intervención, en comparación con las otras situaciones, lo que explicaría el menor desarrollo de sus diámetros; esta situación se refleja además en el menor DCM de las tres situaciones estudiadas y la mayor proporción de árboles suprimidos.

La distribución de clases sociales muestra un comportamiento desigual entre las plantaciones (figura 2). Por una parte, en los ensayos de roble de 31 años y raulí de 39 años predominan los ejemplares codominantes e intermedios. En cambio, como ya se mencionó, en el ensayo de roble de 38 años predominan marcadamente los ejemplares suprimidos.

Los árboles dominantes y codominantes del ensayo roble de 31 años registraron diámetros entre 22 y 37,1 cm, en tanto que para roble de 38 años se registraron entre

¹ Antonio Vita, 2003. Académico depto. de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. Comunicación Personal.

19,8 y 34,8 cm; para raulí de 39 años los diámetros de árboles dominantes y codominantes oscilaron entre 20,1 y 32 cm.

Respecto al área basal, la mayor se registró en el ensayo de roble de 38 años, en que árboles dominantes y codominantes comprenden el 65%; roble de 31 años, presentó un 59% del área basal distribuido entre ejemplares dominantes y codominantes; raulí de 39 años registró la menor área basal de las tres situaciones, distribuyéndose en ésta el 67% entre árboles dominantes y codominantes en este ensayo.

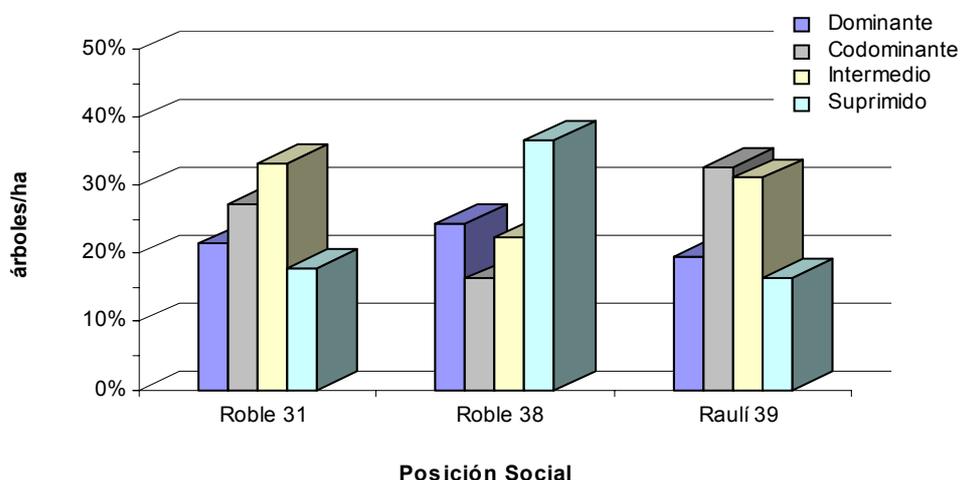


Figura 2: Distribución social para los tres ensayos.

En todos los ensayos de plantación más del 50% de los árboles no supera los 25 cm de DAP. Así mismo, para las tres situaciones el mayor número de árboles por hectárea se presentó en la clase diamétrica 20 a 25 cm, seguidos de la clase 10 a 15 cm. La tabla de rodal muestra que el ensayo de roble de 31 años presenta menor cantidad de árboles en las clases diamétricas inferiores a 25 centímetros, pero sobre esta clase de diámetro registra más árboles que los otros ensayos (figura 3).

El diámetro cuadrático medio registrado en roble de 31 años es notablemente superior al de los otros ensayos aquí estudiados y a la vez mayor a valores obtenidos por DONOSO *et al.*, (1993a), en una plantación de 16 años en Arquihue, IX Región. En tanto que el

registrado por roble de 38 años se acerca más a estos valores. El diámetro medio registrado por los autores mencionados, en un renoval de Huilo Huilo, X Región, 21,1 cm a los 42 años, es equivalente a los obtenidos en este estudio.

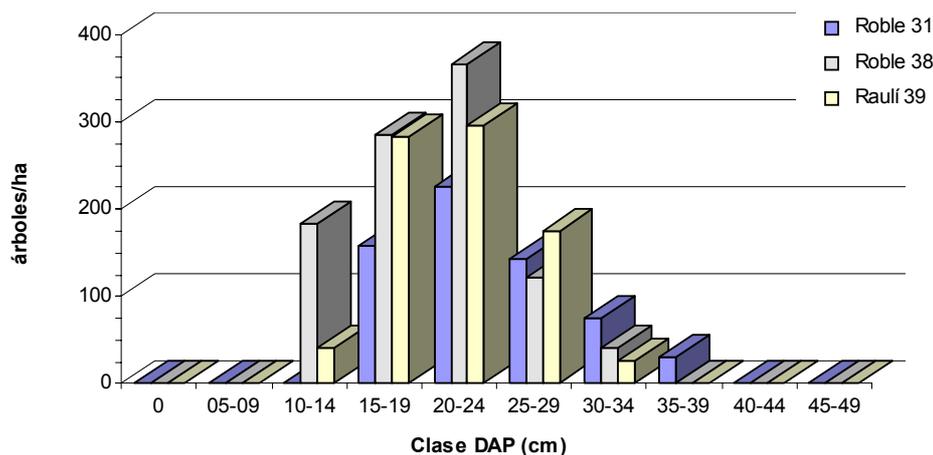


Figura 3: Distribución diamétrica de los ensayos de plantación.

Por otra parte, la plantación de raulí de 39 años registró un DCM algo superior a los 20 cm que registraron ESPINOSA *et al.*, (1988), en una plantación no intervenida de 34 años y de densidad menor a la que aquí se presenta, y bastante menor a los 25,8 cm registrados por DONOSO *et al.*, (1993a) en una plantación de 38 años y de densidad semejante; el rango de DAP en el último caso se encuentra en valores mayores a los registrados en este estudio para raulí, entre 17 y 47 cm contra valores entre 14,6 y 32 cm.

4.2. Crecimiento de los ensayos de plantación

4.2.1. Altura

De las tres situaciones estudiadas, roble de 31 años manifestó un mayor crecimiento en altura, seguido de roble de 38 años, ensayo que, además, registró la mayor altura dominante de los ensayos (figura 4a).

Raulí de 39 años expresó el menor crecimiento de los tres casos, así como la menor altura dominante (cuadro 6).

Cuadro 6: Tabla comparativa de crecimientos anual medio y periódico en altura de plantaciones y renovales de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus alpina*

Especie	Caso	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	CAM (m/año)	CAP (m/año) (6)
<i>Nothofagus obliqua</i>	Frutillar (1)	31	631	0,51	0,47
	Frutillar (1)	38	996	0,50	0,44
	Palguín (2)	14	1440	0,91	-
	Riñihue (5)	14	860	0,70	-
	Puñir (2)	39	253	0,65	-
	Radal 7 Tazas (3)	47	-	0,58	-
<i>Nothofagus alpina</i>	Frutillar (1)	39	820	0,33	0,31
	El Volcán (2)	38	876	0,49	
	El Volcán (4)	34	693	0,44	0,28
	Riñihue (2)	13	2650	0,93	
	Chan Chán (2)	18	1111	0,73	
	Radal 7 Tazas (3)	67	890	0,41	0,20

(1) Este estudio

(2) DONOSO *et al.*, 1993a

(3) DONOSO 1988

(4) ESPINOSA *et al.*, 1988

(5) DONOSO *et al.*, 1995

(6) Últimos 10 años

▪ Roble

Ambos ensayos de roble manifestaron desarrollos relativamente semejantes. Roble de 31 años registró el mayor crecimiento anual medio de las plantaciones evaluadas, con 0,51 m/año y roble de 38 años expresó un crecimiento levemente menor aunque más tardío, de 0,50 m/año (cuadro 6). La curva de crecimiento anual medio (figura 4a) muestra que el crecimiento se estabilizó en ambos ensayos en forma relativamente temprana en torno a los 0,6 m/año.

Las tasas medidas en este estudio se encuentran dentro de lo esperado para plantaciones de roble, siendo similares a los crecimientos anuales medios registrados previamente por VITA (1977) a los 11 y 14 años en la misma localidad. Sin embargo, son superados por los 0,91 m/año registrados en Palguín a los 14 años (DONOSO *et al.*, 1993a), y por los 0,70 m/año registrados también a los 14 años en Riñihue (DONOSO, 1988).

Una situación semejante ocurre al contrastar los resultados con registros de crecimiento en altura de renovales, la mayoría de ellos entre 30 y 48 años; tanto roble de 31 como roble de 38 años igualan o superan a renovales de 28, 30 o 37 años, los que en general registran densidades muy superiores a las aquí expuestas. Tan solo los renovales del sector Puñir, de 39 años y un crecimiento medio de 0,65 m/año (DONOSO *et al.*, 1993a), y de Radal 7 Tazas, de 47 años y una tasa media de 0,58 m/año (DONOSO, 1988), superan los 0,5 m/año de roble de 31 años (cuadro 6).

El máximo crecimiento anual medio para roble de 31 años se registró tempranamente, en el año 18, con 0,68 m/año. Por el contrario, para roble de 38 años se manifestó en el año 28 con 0,61 m/año. Esta situación refleja una condición más restringida para roble de 38 años, con suelos menos profundos y pendientes marcadamente mayores a las del ensayo de 31 años. De esta forma expresa su desarrollo en forma más lenta.

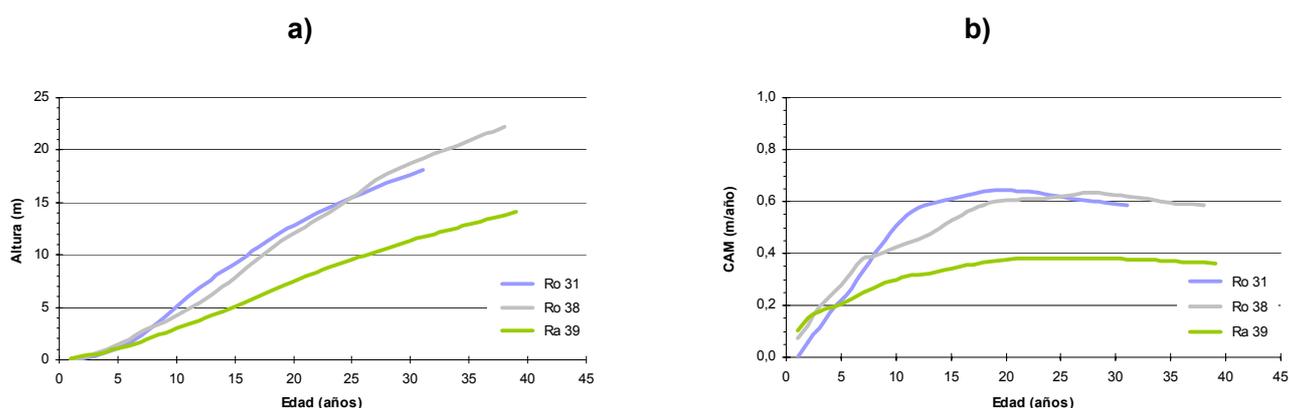


Figura 4: Altura y crecimiento anual medio en altura de las tres plantaciones

- Raulí 39 años

El CAM para esta plantación fue de 0,33 m/año (cuadro 6), observándose tasas de no más de 0,54 m/año. El comportamiento del crecimiento en altura de este ensayo refleja limitaciones originadas probablemente por la ubicación fuera del rango de distribución natural de raulí, restringiéndose el crecimiento a tasas inferiores al 50% del crecimiento de otras plantaciones. Es así como, tanto plantaciones como renovales que se encuentran dentro del rango de distribución natural de raulí superan al ensayo evaluado (cuadro 6).

Las plantaciones de mayor edad, de 34 y 38 años (ESPINOSA *et al.*, 1988; DONOSO *et al.*, 1993a) ambas del sector El Volcán, en la IX Región, registraron también valores superiores al de este ensayo de plantación. Una situación equivalente ocurre con los renovales, la mayoría de ellos, con más de 30 años, registraron para raulí tasas de crecimiento en altura superiores a las medidas en el presente estudio. El valor más cercano es el registrado en Radal 7 Tazas en un renoval mixto de 67 años, con 0,41 m/año (DONOSO, 1988). Pese a esto, debe considerarse que las condiciones de sitio de este renoval pueden ser muy diferentes a las condiciones de los ensayos de plantación establecidos en la Estación Experimental.

Para este ensayo el máximo crecimiento anual medio, de 0,38 m/año, se manifestó a los 25 años (figura 4b) y es marcadamente inferior a los ensayos de roble.

4.2.2. Crecimiento en DAP

Al igual que en la altura, roble de 31 años presentó un desarrollo mayor en comparación con los otros ensayos de plantación analizados, alcanzando al momento del estudio un DCM de 25 cm y superando ampliamente a los otros ensayos (figura 5a).

Esta plantación registró las mayores tasas de crecimiento para el diámetro, secundado por roble de 38 años y raulí de 39 años (cuadro 7).

Cuadro 7: Crecimiento en DAP, Area Basal y Volumen de los ensayos de plantación

Crecimiento	Ensayo de Plantación		
	Roble 31 años	Roble 38 años	Raulí 39 años
CAM DAP (cm/año)	0,7	0,5	0,4
CAP DAP (cm/año) (1)	0,6	0,4	0,3
CAP A Basal (m ² /ha/año) (1)	1,5	1,3	0,8
CAP Volumen (m ³ /ha/año) (1)	20,2	19,3	12,5

(1) Ultimos 10 años

- Roble

El desarrollo del diámetro es marcadamente diferente entre los dos ensayos de plantación de roble (cuadro 7). Ambas situaciones expresan tasas de crecimiento que se encuentran dentro de lo esperado para roble. Sin embargo, roble de 38 años manifiesta crecimientos bastante menores a la mayoría de las plantaciones conocidas.

No ocurre lo mismo con roble de 31 años, ya que el crecimiento medido, aunque no es de los mayores, es cercano a las tasas de otras plantaciones evaluadas; tal es el caso de mediciones como las de DONOSO *et al.*, (1995) realizada en Riñihue sobre una plantación mixta de roble y raulí, en que se registra para roble un crecimiento de 0,76 cm/año a los 14 años.

El CAP de los últimos 10 años en roble de 31 años se comporta de manera semejante a plantaciones de *Nothofagus* de edades y densidades similares, no así roble de 38 años, que manifiesta un crecimiento más limitado (cuadro 8). Las diferencias en densidad y crecimiento entre los dos ensayos de roble estudiados empuja a suponer que la mayor intensidad y mejor oportunidad de las intervenciones realizadas en la plantación de 31 años favorecieron el desarrollo del diámetro de este ensayo por sobre la de 38 años, de menor DCM y crecimiento.

Cuadro 8: Crecimientos anuales medio y periódico del diámetro en *Nothofagus*

	Caso	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	CAM (cm/año)	CAP (cm/año) (6)
Plantaciones	Roble 1970 (1)	31	631	0,72	0,62
	Roble 1963 (1)	38	996	0,52	0,43
	Raulí 1962 (1)	39	820	0,43	0,30
	El Volcán (4)	34	693	0,57	0,63
	Frutillar (3)	14	1250	0,70	-
	Riñihue (5)	13	2650	0,86	-
	Enco (5)	15	671	1,18	-
Renovales	Cancha Larga (5)	33	1218	0,49	-
	Quebrada Honda (5)	33	868	0,63	-
		28	1890	0,65	0,60
	Radal 7 Tazas (2)	30	2510	0,59	0,69
		37	1380	0,48	0,42

(1) Este estudio
(2) DONOSO, 1988
(3) VITA, 1977
(4) ESPINOSA *et al.*, 1988
(5) DONOSO *et al.*, 1993a
(6) Últimos 10 años

Un comportamiento semejante ocurre al comparar los ensayos de plantación con renovales estudiados por DONOSO (1988) en el sector de Radal 7 Tazas, los que manifiestan tasas en torno a los 0,6 cm/año para los últimos 10 años; estos renovales presentan condiciones de sitio y densidades diferentes a los ensayos de plantación aquí estudiados.

El diámetro anual acumulado entre ambos ensayos de plantación aquí estudiados fue semejante, registrándose al momento de este estudio valores medios de 22,48 y 21,12 m respectivamente. Sin embargo, y como ya se ha mencionado, roble de 31 años los alcanza más tempranamente, entre cinco y diez años antes que roble de 38 años. El mayor crecimiento anual medio para roble de 31 años fue de 0,81 cm/año, a los 12 años, en tanto que para roble de 38 años se registró a los 18 años y fue de 0,62 cm/año.

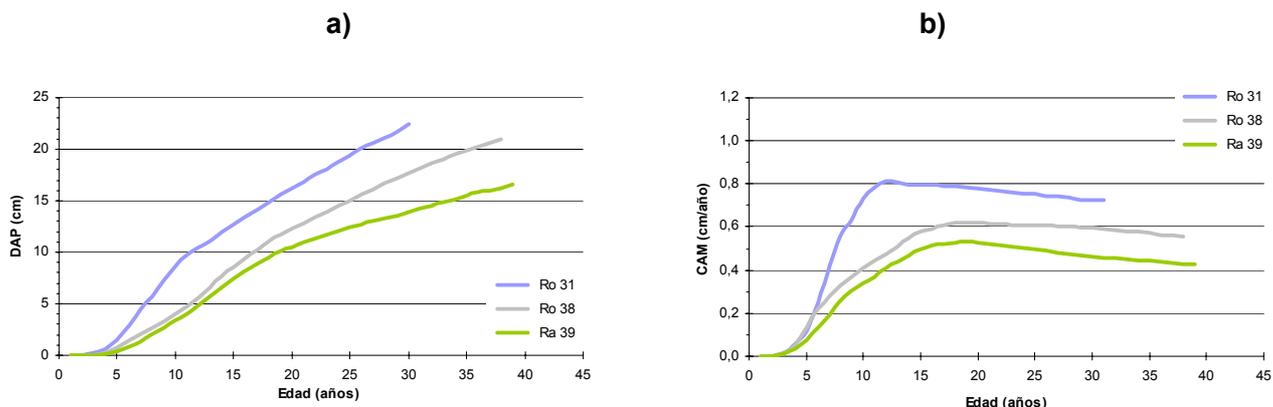


Figura 5: DAP anual y crecimiento anual medio del DAP para los tres ensayos

- Raulí 39 años

Como ya se ha indicado, este ensayo de plantación registró las menores tasas de crecimiento de las tres situaciones aquí estudiadas, con un valor promedio de 0,43 cm/año (cuadro 7). La plantación registró 0,53 cm/año como máximo crecimiento anual medio, a los 19 años.

El crecimiento promedio evaluado se encuentra bastante por debajo de las tasas de crecimiento que registran tanto renovales como plantaciones de la especie. De acuerdo a la bibliografía recopilada, las mediciones en plantaciones registran para todas las edades y densidades valores que superan en al menos 30% el crecimiento anual medio del ensayo de plantación aquí estudiado (cuadro 8). Las evaluaciones realizadas en la localidad de Frutillar, en la X Región (VITA, 1974 y VITA, 1977) manifiestan menores crecimientos y más cercanos a los valores registrados por el presente estudio; solo las plantaciones de mayor edad establecidas en esta zona presentan un crecimiento medio superior a los 0,70 cm/año.

De la misma manera, renovales tanto puros como mixtos de raulí mostraron tasas marcadamente superiores a las del ensayo de raulí de 39 años. Tan solo los rodales de mayor edad y densidad, como los de Radal 7 Tazas (DONOSO, 1988) y Cancha Larga (DONOSO *et al.*, 1993a) registraron tasas de crecimiento medio de 0,47 y 0,49 cm/año (cuadro 8).

Por otra parte el crecimiento anual periódico para los últimos 10 años es muy inferior a plantaciones y renovales de *Nothofagus*. Tan solo se aproxima, al igual que el ensayo de roble de 38 años, al crecimiento experimentado por un renewal de raulí de Radal 7 Tazas, VII Región, que presenta 0,42 cm/año para los últimos años. Sin embargo, la densidad de tal situación casi duplica a la del ensayo de raulí aquí evaluado (cuadro 8).

Las clases sociales dominante y codominante de este ensayo de plantación manifiestan un desarrollo notable, registrando tasas de crecimiento promedio de 0,74 y 0,62 cm/año respectivamente, con máximos de hasta 0,93 cm/año a los 18 años en el caso de la primera. Esta situación permite intuir que raleos a temprana edad habrían favorecido el desarrollo del diámetro en este ensayo.

4.2.3. Crecimiento en volumen

El comportamiento del incremento volumétrico bruto en este período es similar entre los tres ensayos de plantación estudiados, registrándose máximos y mínimos cíclicos equivalentes entre estos (figura 7). De acuerdo a las mediciones realizadas las mayores tasas de crecimiento en volumen bruto sin corteza para los últimos 10 años las registraron los ensayos de roble, que en algunos casos duplican al crecimiento de raulí.

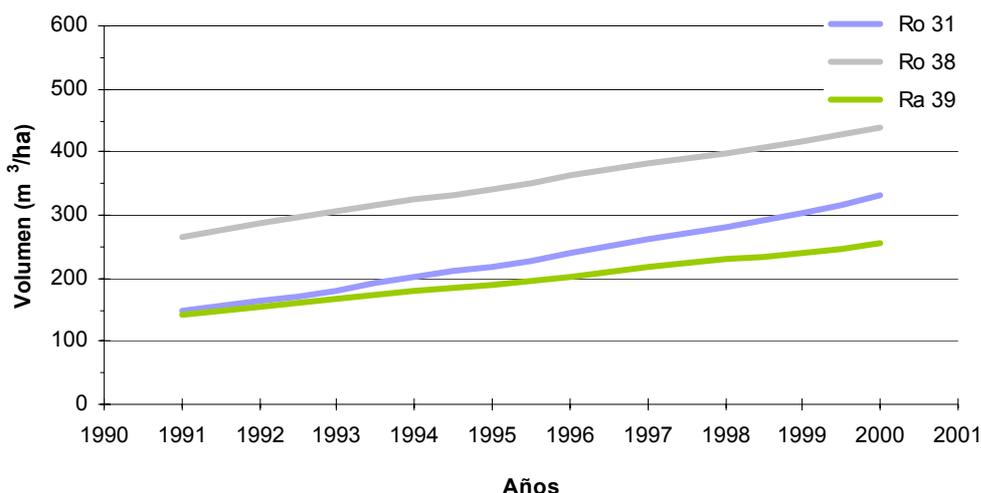


Figura 6: Volumen bruto sin corteza acumulado últimos 10 años, para las tres situaciones

El incremento del volumen bruto sin corteza en los últimos 10 años manifiesta tasas muy semejantes entre los dos ensayos de roble, con valores de 20,2 m³/ha/año para el ensayo de 31 años y de 19,3 m³/ha/año para el de 38 años. Estos montos son relativamente altos si se consideran plantaciones y renovales de *Nothofagus*. Es así como en plantaciones de menos de 20 años se registran en general tasas inferiores a los 17 m³/ha/año (cuadro 9). En el caso del ensayo de raulí de 39 años, se alcanzó un crecimiento de 12,5 m³/ha/año, un valor más moderado y similar a otras plantaciones de *Nothofagus* y en particular de raulí.

La situación más parecida a las condiciones que presentan los ensayos aquí evaluados corresponde a una plantación de raulí de 34 años y 693 árboles por hectárea, realizada en el sector El Volcán, IX Región (ESPINOSA *et al.*, 1988); bajo estas condiciones se registró un CAP de 12,2 m³/ha/año para los últimos 10 años (cuadro 9). Según el citado estudio, el crecimiento registrado es equivalente a rendimientos de plantaciones de pino insigne (*Pinus radiata*) de clase de sitio III.

Cuadro 9: Volumen de plantaciones adultas de *Nothofagus*

Caso	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	CAP (6) (m ³ /ha/año)	Acumulado (m ³ /ha)
El Volcán (1)	34	693	12,2	171,7
El Volcán (2)	38	876	9,4 (5)	462,8
Remeco (2)	15	3333	16,5 (5)	248,1
Riñihue (3)	14	1830	15,0 (7)	97,9
Frutillar (4)	31	631	20,2	332,3
Frutillar (4)	38	996	19,3	438,6
Frutillar (4)	39	820	12,5	256,7

(1) ESPINOSA *et al.*, 1988
 (2) DONOSO *et al.*, 1993a
 (3) DONOSO *et al.*, 1995
 (4) Este estudio

(5) CAM
 (6) Ultimos 10 años
 (7) Ultimos 3 años

De acuerdo al análisis planteado por DE CAMINO y DRAKE (1977), el ensayo de roble de 31 años corresponde a clase de rendimiento 18, es decir, una capacidad máxima

esperada de crecimiento de 18 m³/ha/año. De la misma manera, para roble de 38 años y raulí de 39 años para este análisis a las clases de rendimiento corresponden a 16 y 10 respectivamente; esta última la menor clase de rendimiento de las mencionadas en ese estudio.

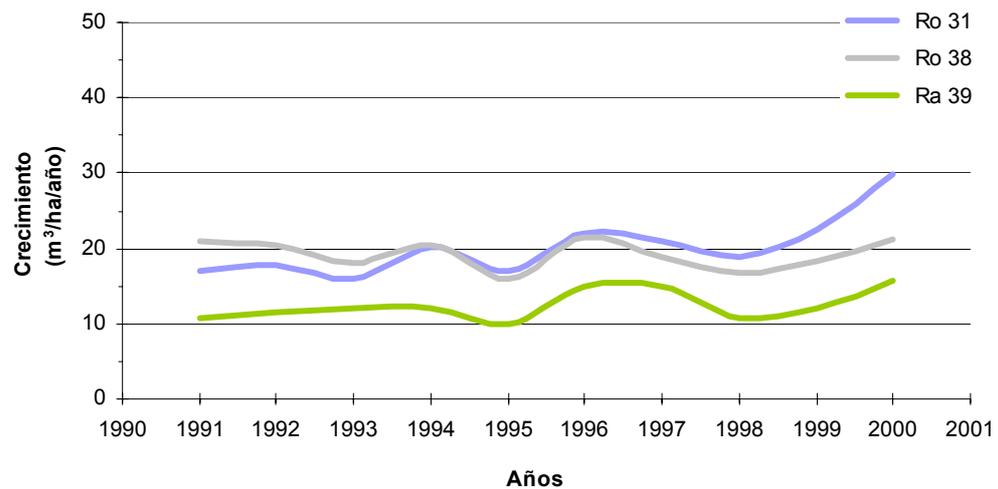


Figura 7: Crecimiento anual periódico del volumen bruto en las tres situaciones

En relación a los tres ensayos de plantación, se observa en el crecimiento de los últimos 10 años dos “peak” de crecimiento, 1994 y 1996; en estas dos ocasiones se registraron alzas marcadas en las tasas de crecimiento del volumen (figura 7). De la misma manera, pero en las tres situaciones se registró un aumento hacia el último año de la plantación. Estos aumentos cíclicos de crecimiento del diámetro podrían expresar períodos de mejores condiciones climáticas, las que favorecerían el desarrollo del diámetro; así mismo, al desmejorar estas condiciones se vería afectado el crecimiento manifestándose en tasas menores de crecimiento.

4.3. Funciones de volumen

Las funciones seleccionadas, según sus estadísticos (apéndice 4), explican el volumen por árbol, bruto o aprovechable sin corteza, en función del DAP, para cada especie aquí estudiada (cuadro 10).

De acuerdo al análisis estadístico las funciones de volumen bruto sin corteza generadas manifestaron tener una alta correlación con los datos muestreados. De la misma manera, las funciones locales de volumen aprovechable, con diámetro mínimo de 10 centímetros, expresaron un buen ajuste (apéndice 4).

Cuadro 10: Funciones locales de volumen bruto sin corteza para los ensayos de plantación

Volumen bruto	Roble	$VOLTOT = 0,000488054 \times DAP^{2,18085}$
	Raulí	$VOLTOT = 0,000406074 \times DAP^{2,19724}$
Volumen aprovechable	Roble	$VOLAPR = 0,000279174 \times DAP^{2,34892}$
	Raulí	$VOLAPR = -0,0123395 + 0,000755381 \times DAP^2$

4.4. Resultado de las intervenciones

La intervención realizada en los ensayos de plantación fue de intensidad moderada, no sobrepasando el 35% del área basal original en el caso más severo (cuadro 11). La situación más fuertemente intervenida fue la de raulí de 39 años, extrayéndose de este la mayor proporción de árboles por hectárea, área basal y volumen.

La intervención en los tres casos estudiados buscó generar un bosque homogéneo tanto en su distribución espacial como social. Es así como en roble de 31 años el raleo fue homogéneo para todas las clases sociales; para roble de 38 años la intervención se realizó en forma selectiva, extrayéndose principalmente árboles dominantes y suprimidos; para raulí de 39 años la intervención también fue selectiva, pero predominó la extracción de ejemplares codominantes (cuadro 11). Una situación equivalente se presenta desde el punto de vista de la distribución diamétrica, antes y después de la intervención realizada en cada ensayo (figura 8).

Cuadro 11: Intensidad de las intervenciones por clase social

Ensayo		Clase social				Total
		Dominante	Codominante	Intermedio	Suprimido	
Roble 31 años	Árboles por hectárea	7,1%	7,1%	7,1%	6,0%	27,4%
	Area Basal	11,7%	7,2%	5,1%	2,9%	26,9%
Roble 38 años	Árboles por hectárea	8,2%	4,1%	2,0%	8,2%	22,5%
	Area Basal	12,4%	4,2%	2,3%	5,2%	24,1%
Raulí 39 años	Árboles por hectárea	8,2%	11,5%	4,9%	9,8%	34,4%
	Area Basal	14,0%	13,3%	3,7%	4,9%	35,9%

Se procuró mantener un bosque homogéneo, centrado en una mayor proporción de árboles de la clase 20 a 24 cm de DAP, pero extrayendo ejemplares de todas las clases presentes. Las clases de diámetro intervenidas más fuertemente fueron las con mayor representación de individuos; para roble de 31 y de 38 años fueron las clases 15 a 19 cm y 20 a 24 cm de DAP, extrayéndose entre ambas clases de cada plantación el 61% y el 72% de los árboles cortados; para el caso de raulí las clases de diámetro más intervenidas fueron las de 15 a 19 cm y 25 a 29 cm de DAP, extrayéndose entre las dos clases el 62% de los árboles volteados.

Cuadro 12: Parámetros dasométricos de los ensayos después de la intervención.

Ensayo	Árboles por hectárea	DCM (cm)	Área basal (m ² /ha)	Volumen Bruto (m ³ sc/ha)
Roble 1970	458	25,1	22,6	249,8
Roble 1963	772	20,6	25,9	280,0
Raulí 1962	538	21,6	19,7	187,9

En las tres situaciones el diámetro medio cuadrático se mantuvo en valores similares a los que existían antes de las intervenciones, expresando una relación entre área basal y densidad similar a la inicial (cuadro 12).

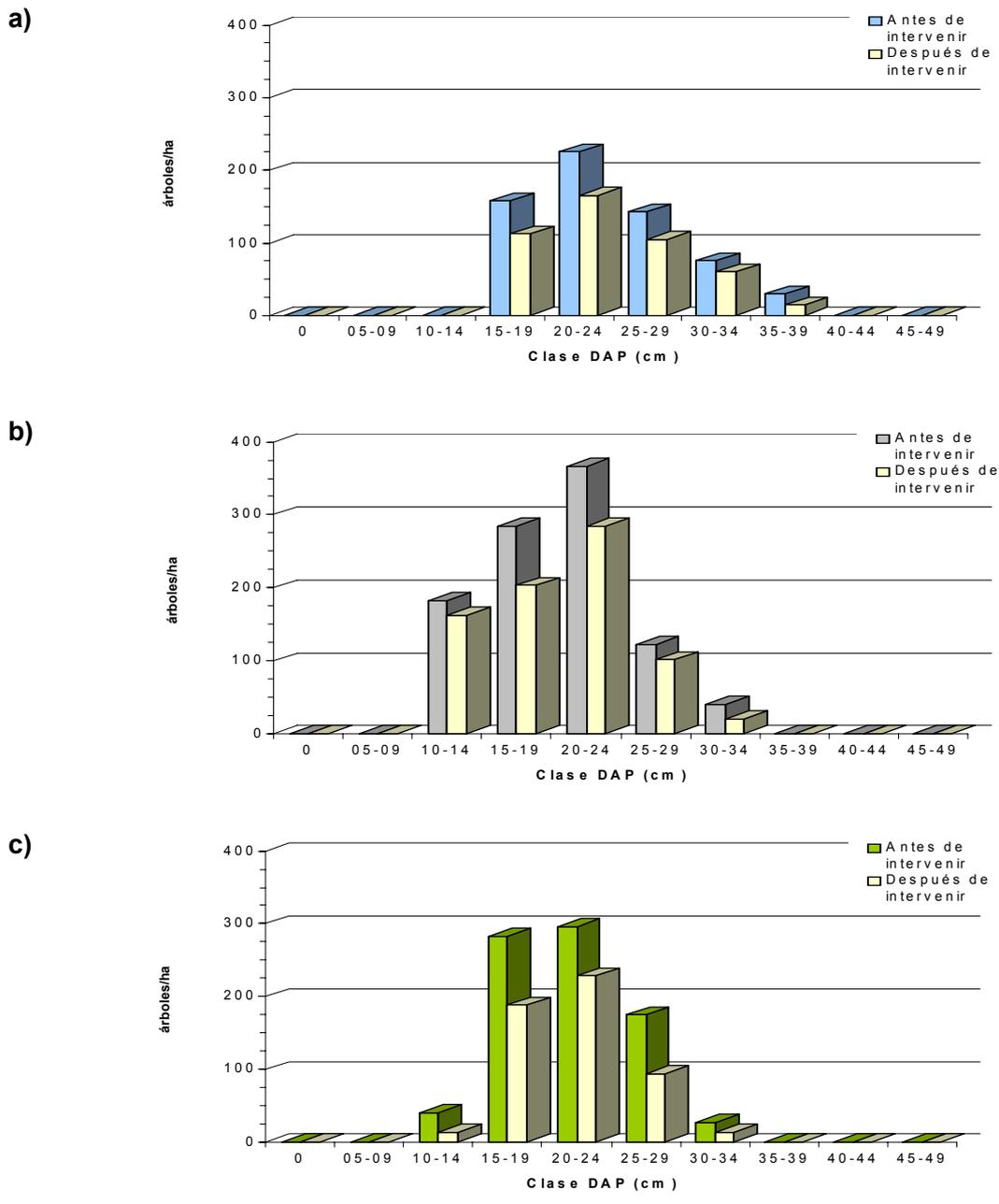
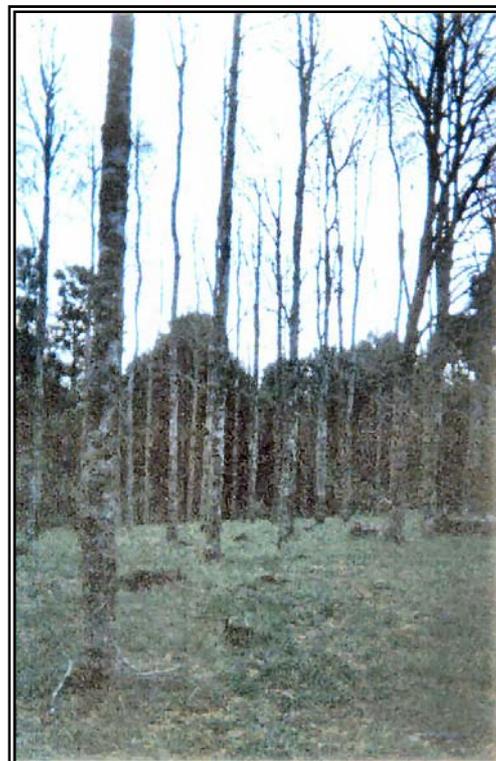


Figura 10: Distribución diamétrica de los ensayos antes y después de la intervención



Figura 11: Vista general ensayo de plantación de roble de 38 años posterior a la intervención (imagen obtenida en temporada estival)

Figura 12: Vista general ensayo de plantación de roble de 31 años posterior a la intervención (imagen obtenida en temporada invernal)



Los montos obtenidos de volumen bruto en pie en las plantaciones experimentales (cuadro 13) están de acuerdo con los montos indicados por DONOSO *et al.* (1993b) al definir zonas de crecimiento para roble y raulí, coincidiendo los montos de este estudio con los correspondientes a sitios regulares.

Cuadro 13: Volúmenes medidos

Volumen (m ³ sc/ha)		Ensayo de Plantación			
		Roble 31 años	Roble 38 años	Raulí 39 años	
Inicial	Bruto	343,2	369,8	294,3	
	Aprovechable	340,5	356,9	285,4	
Extraído	Bruto	93,5	89,8	106,5	
	Aprovechable	Aserrable	22,8	20,8	37,3
		Pulpable	70,0	66,2	65,3
		Total	92,8	87,0	102,6

m³ sc: metros cúbicos sin corteza

Para el caso de roble de 31 años, el volumen aprovechable en pie supera a lo esperado para renovales de roble y raulí en clase de rendimiento 18, la que presenta el mayor rendimiento, según lo indicado por DE CAMINO y DRAKE (1977). De la misma manera, para roble de 38 años, el volumen aprovechable en pie medido en el presente estudio supera al volumen esperado para esta edad en la clase de rendimiento 18 de renovales de roble y raulí. En el caso del ensayo de raulí aquí estudiado, esta situación coincide con el volumen esperado en clase de rendimiento 12 a los 38 años.

Los montos que se indican también concuerdan con los valores conseguidos por DONOSO *et al.* (1993a) en renovales mixtos de roble y raulí de 31 años intervenidos en dos ocasiones antes de la corta final.

Para raulí la situación es diferente, puesto que puede reflejar condiciones de sitio más limitadas, como es ubicarse fuera de su rango de distribución natural; sin embargo, los volúmenes obtenidos siguen siendo superiores a los obtenidos por ESPINOSA *et al.*

(1988) en una plantación no intervenida de raulí de 34 años. Este resultado puede ser un indicador de la efectividad de realizar intervenciones en esta clase de plantaciones, obteniéndose volúmenes superiores a plantaciones no intervenidas.

5. CONCLUSIONES

Al momento del estudio los ensayos de plantación registraron 31 y 38 años para roble y 39 años para raulí; todas se encontraron en buen estado sanitario. Al momento del estudio, para roble se registraron alturas dominantes de entre 22 y 24 metros, en tanto que para raulí de 20 metros. Se midieron áreas basales medias de entre 30 y 34 m²/ha, para roble, y de 30 m²/ha para raulí. En los tres ensayos la mayoría de los árboles no sobrepasa los 25 cm de DAP. Se registraron volúmenes brutos de entre 340 y 370 m³/ha para roble y de cerca de 300 m³/ha para raulí, con volúmenes aprovechables superiores al 95 % del volumen bruto.

Crecimiento

El crecimiento en altura es marcadamente superior en roble respecto de raulí, reflejándose restricciones de sitio para esta última especie. Las plantaciones estudiadas registraron valores de 0,50 m/año para roble y de 0,33 m/año para raulí.

Para el crecimiento en diámetro ambos ensayos de plantación de roble presentaron mayores crecimientos que raulí. Sin embargo el ensayo más joven registró tasas de crecimiento medio en DAP notablemente mayores a los otros ensayos medidos en este estudio. Raulí registró un crecimiento medio de 0,4 cm/año, 0,5 cm/año para roble de más edad, en tanto que de 0,7 cm/año para la situación más joven. El ensayo de roble de menor edad es el que manifiesta tasas de crecimiento más cercanas a las de otras plantaciones.

El crecimiento medio en volumen para los últimos 10 años en roble es marcadamente superior a raulí, alcanzando valores próximos a 20 m³/ha/año. En el caso de raulí, el crecimiento supera los 12 m³/ha/año para los últimos 10 años. Los ensayos de roble expresan crecimientos superiores a otras situaciones, en tanto que raulí se encuentra en rangos más cercanos a otras plantaciones.

Rendimiento de las intervenciones

Se extrajeron 93,5 m³/ha/año, 89,8 m³/ha/año y 106,5 m³/ha/año de volumen bruto para roble de 31 años, de 38 años y raulí de 39 años respectivamente, de los cuales más del 96% puede aprovecharse como madera aserrable o pulpable.

Según el análisis realizado, del volumen bruto extraído, el 23% puede aprovecharse como madera aserrable, con valores que para roble superan los de 22,8 m³/ha, 20,8 m³/ha y 37,3 m³/ha/año para roble de 31 años, roble de 38 años y raulí de 39 años respectivamente. El mayor rendimiento de producto aserrable lo arrojó raulí, con un 35% respecto del volumen bruto explotado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CASTILLO, F. 1992. Caracterización, estudio dendrológico y proposición de intervenciones silvícolas para renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*), Cordillera de la Costa, IX Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 74 p.
- CERDA, I. 1998. Trayectoria del sector forestal chileno. Santiago, Chile. INFOR, Subgerencia de Estudios Económicos y del Ambiente. Informe Técnico N° 140. 145 p.
- CONAF, 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. CONAF, Proyecto Manejo sustentable del bosque nativo. Santiago. 420 p.
- CONAF/INFOR, 1998a. Monografía de Raulí (*Nothofagus alpina*). Convenio CONAF–INFOR. Santiago, Chile. 90 p.
- CONAF/INFOR, 1998b. Monografía de Roble (*Nothofagus obliqua*). Convenio CONAF–INFOR. Santiago, Chile. 91 p.
- DE CAMINO, R.; SMITH, B.; BENAVIDES, M. y RODAS, J. 1974. Los renovales de bosque nativo como recurso forestal. Antecedentes para la discusión del problema. Instituto de Manejo y Economía Forestal. U. Austral de Chile.
- DE CAMINO, R y DRAKE, F. 1977. Estudio comparativo de rodales género *Nothofagus* en Chile y Gran Bretaña. CONAF IX Región. 28 p
- DONOSO, C.; CORTÉS, M. y ESCOBAR, B. 1991. Técnicas de vivero y plantación para Raulí (*Nothofagus alpina*). Chile Forestal, Documento Técnico N° 53.

- DONOSO, P. 1988. Caracterización y proposiciones silviculturales para renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en el área de protección “Radal 7 Tazas”, VII Región. Bosque 9(2): 103 – 114.
- DONOSO, P.; MONFIL, T.; OTERO, L. y BARRALES, L. 1993a. Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales manejados de especies nativas en el área andina de las provincias de Cautín y Valdivia. Ciencia e Investigación Forestal 7(2): 255 – 287.
- DONOSO, P.; DONOSO, C. y SANDOVAL, V. 1993b. Proposición de zonas de crecimiento para renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) en su rango de distribución natural. Bosque 14(2): 37 – 55.
- DONOSO, P.; MAUREIRA, C.; BARRÍA, P y HERNANDEZ, E. 1995. Desarrollo inicial de plantaciones de *Nothofagus* en la provincia de Valdivia. Cuartas Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes. 18 p.
- ESPINOSA, M.; GARCIA, J. y PEÑA, E. 1988. Evaluación del crecimiento de una plantación de Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst), de 34 años de edad. Agrociencia 4(1): 67– 74.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 165 p.
- GROOSE, H. 1987. Desarrollo inicial de plantaciones de Raulí. Ciencia e Investigación Forestal, 1(1): 49 – 56.
- GROOSE, H. 1988. Crecimiento de plantaciones con Raulí y Roble bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización. Ciencia e Investigación Forestal, 2(5): 13 – 30.
- GROOSE, H. 1989. Renovales de Raulí, Roble, Coigüe y Tepa: Expectativas de rendimiento. Ciencia e Investigación Forestal, 3(6): 37 – 72.

- INIA. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 221 p.
- MARTINEZ, O. 1993. Nuevo límite sur del área de distribución de *Nothofagus alpina* (Phil.) Dim. Et Mil., *Fagaceae*. Bosque 14(1): 73 – 74.
- PASTUR, G; CELLINI, J; LENCINAS, M; VUKASOVIC, R; PERI, P y DONOSO, S. 2002. Response of *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oersted to different thinning intensities in Tierra del Fuego, Argentina. *Interciencia* 27 (12): 679–685.
- PERALTA, M. 1971. Suelos de regiones naturales de conservación. Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal. Boletín Técnico N° 24. 55 p.
- PRODAN, M; PETERS, R; COX, F y REAL, P. 1997. Mensura Forestal. IICA. San José, Costa Rica.
- RODRIGUEZ, R.; MATHEI, O. y QUEZADA, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Chile.
- SCHUMACHER, F y HALL, F, 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research* 47 (9): 719–734.
- SERRA, M. 2001. Proyecto: Mejora Genética de NOTHOFAGUS de Interés Económico. www.geocities.com/CapeCanaveral/5746/nativo1.html
- SERRA, M; GARAY, R. 2002. Ficha Técnica Raulí. Fundación Chile. www.fundacionchile.cl/ft/forestal/fc_index.htm.
- Universidad Austral de Chile. 2001. Certificación forestal en Chile. Descripción de los recursos forestales chilenos. www.uach.cl/docen/facultades/facfor/flacam/basttiene/forestal.htm

VITA, A. 1974. Algunos antecedentes para la silvicultura del Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst.). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Boletín Técnico N° 28.

VITA, A. 1977. Crecimiento de algunas especies forestales nativas y exóticas en el Arboretum del Centro Experimental Forestal Frutillar (X región). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Boletín Técnico N° 47. 16 pág.

APÉNDICES

INDICE

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE ROBLE	3
2.1.1. <i>Descripción general</i>	3
2.1.2. <i>Distribución y hábitat</i>	4
2.1.3. <i>Usos</i>	5
2.2. ANTECEDENTES GENERALES DE RAULÍ	5
2.2.1. <i>Descripción general</i>	5
2.2.2. <i>Distribución y hábitat</i>	6
2.2.3. <i>Usos</i>	7
2.3. ANTECEDENTES DE CRECIMIENTO PARA ROBLE Y RAULÍ	7
2.3.1. <i>Plantaciones</i>	7
2.3.2. <i>Renovales</i>	10
2.4. ANTECEDENTES VOLUMÉTRICOS	12
2.5. FUNCIONES DE VOLUMEN	15
3. MATERIAL Y MÉTODO.....	17
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DEL ESTUDIO.....	17
3.1.1. <i>Ubicación</i>	17
3.1.2. <i>Clima</i>	17
3.1.3. <i>Topografía y suelo</i>	18
3.1.4. <i>Vegetación natural</i>	18
3.2. METODOLOGÍA.....	18
3.2.1. <i>Parcelas de estudio</i>	18
3.2.2. <i>Muestreo y evaluación de crecimiento</i>	19
3.2.3. <i>Estimación de volúmenes</i>	20
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE PLANTACIÓN	22
4.1.1. <i>Parámetros iniciales</i>	23
4.2. CRECIMIENTO DE LOS ENSAYOS DE PLANTACIÓN	25

4.2.1. <i>Altura</i>	25
4.2.2. <i>Crecimiento en DAP</i>	28
4.2.3. <i>Crecimiento en volumen</i>	32
4.3. FUNCIONES DE VOLUMEN	34
4.4. RESULTADO DE LAS INTERVENCIONES.....	35
5. CONCLUSIONES	41
6. BIBLIOGRAFÍA	43
APÉNDICES.....	47

APÉNDICE 1

Tablas de rodal de los ensayos de plantación, en árboles por hectárea y porcentual

Antes de la intervención

Clase DAP (cm)	Roble 31 años		Roble 38 años		Raulí 39 años	
	Árboles	%	Árboles	%	Árboles	%
0	0	0%	0	0%	0	0%
05-09	0	0%	0	0%	0	0%
10-14	0	0%	183	18%	40	5%
15-19	158	25%	285	29%	282	34%
20-24	225	36%	366	37%	296	36%
25-29	143	23%	122	12%	175	21%
30-34	75	12%	41	4%	27	3%
35-39	30	5%	0	0%	0	0%
40-44	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	631	100%	996	100%	820	100%

Extraído

Clase DAP (cm)	Roble 31 años		Roble 38 años		Raulí 39 año	
	Árboles	%	Árboles	%	Árboles	%
0	0	0%	0	0%	0	0%
05-09	0	0%	0	0%	0	0%
10-14	0	0%	20	9%	27	10%
15-19	45	26%	81	36%	94	33%
20-24	60	35%	81	36%	67	24%
25-29	38	22%	20	9%	81	29%
30-34	15	9%	20	9%	13	5%
35-39	15	9%	0	0%	0	0%
40-44	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	173	100%	224	100%	282	100%

APÉNDICE 2

Distribución social de los ensayos de plantación, en árboles por hectárea y porcentaje de árboles por hectárea

Antes de la intervención

	Roble 31 años		Roble 38 años		Raulí 39 años	
Dominante	135	21,4%	244	24,5%	161	19,7%
Codominante	173	27,4%	163	16,3%	269	32,8%
Intermedio	210	33,3%	224	22,4%	255	31,1%
Suprimido	113	17,9%	366	36,7%	134	16,4%
TOTAL	631	100%	996	100%	820	100%

Extraído

	Roble 31 años		Roble 38 años		Raulí 39 años	
Dominante	45	7,1%	81	8,2%	67	8,2%
Codominante	45	7,1%	41	4,1%	94	11,5%
Intermedio	45	7,1%	20	2,0%	40	4,9%
Suprimido	38	6,0%	81	8,2%	81	9,8%
TOTAL	173	27,4%	224	22,4%	282	34,4%

Después de la intervención

	Roble 31 años		Roble 38 años		Raulí 39 años	
Dominante	90	14,3%	163	16,3%	94	11,5%
Codominante	128	20,2%	122	12,2%	175	21,3%
Intermedio	165	26,2%	203	20,4%	215	26,2%
Suprimido	75	11,9%	285	28,6%	54	6,6%
TOTAL	458	72,6%	772	77,6%	538	65,6%

APÉNDICE 3

Volumen anual ultimos 10 años (m³/año)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Roble 31 años	147,5	165,4	181,3	201,4	218,3	240,2	261,2	280,0	302,6	332,3
Roble 38 años	266,8	287,2	305,4	325,9	342,0	363,5	382,4	399,2	417,5	438,6
Raulí 39 años	143,0	154,4	166,4	178,6	188,6	203,6	218,4	229,1	241,0	256,7

Crecimiento Anual en Volumen ultimos 10 años (m³/año)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Roble 31 años	17,1	17,9	15,9	20,1	16,9	21,9	21,0	18,8	22,6	29,7
Roble 38 años	21,0	20,4	18,2	20,5	16,1	21,5	18,9	16,8	18,3	21,1
Raulí 39 años	10,8	11,4	12,1	12,1	10,0	15,0	14,8	10,7	12,0	15,7

APÉNDICE 4

Resultados Análisis de regresión para Volumen Total y Volumen Aprovechable de Raulí

Regression Analysis - Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Dependent variable: VOLTOT

Independent variable: DAP

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	-7,80897	0,37278	-20,948	0,0000
Slope	2,19724	0,120286	18,2668	0,0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

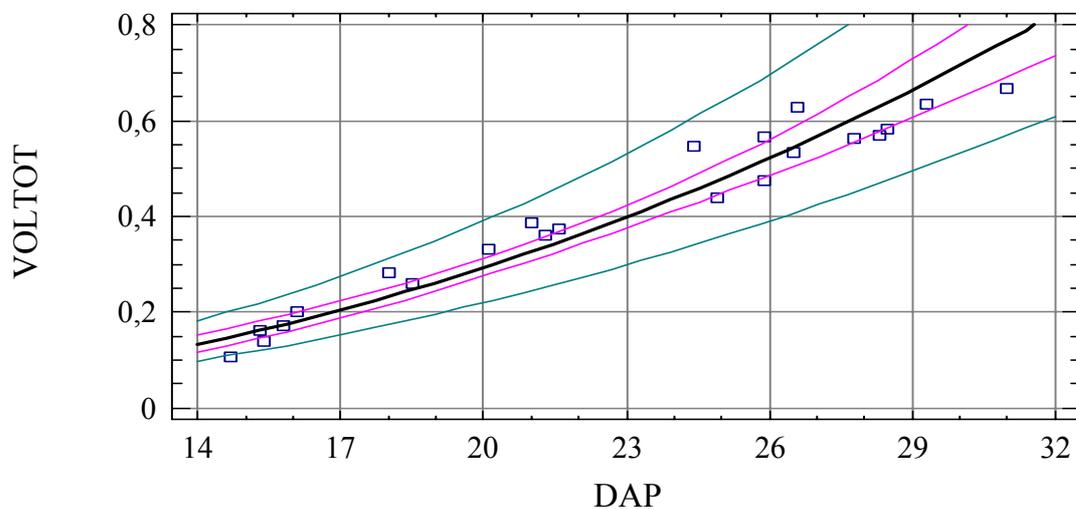
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6,01374	1	6,01374	333,68	0,0000
Residual	0,360454	20	0,0180227		
Total (Corr.)	6,37419	21			

Correlation Coefficient = 0,971314

R-squared = 94,3451 percent

Standard Error of Est. = 0,134249

Gráfico del Modelo Ajustado



The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between VOLTOT and DAP. The equation of the fitted model is:

$$\mathbf{VOLTOT = 0,000406074 * DAP^{2,19724}}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between VOLTOT and DAP at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 94,3451% of the variability in VOLTOT after transforming to a logarithmic scale to linearize the model. The correlation coefficient equals 0,971314, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,134249. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + b \cdot X$

Dependent variable: VOLAPR

Independent variable: DAP^2

Parameter	Standard Estimate	T Error	Statistic	P-Value
Intercept	-0,0123395	0,0252209	-0,489259	0,6300
Slope	0,000755381	0,0000432471	17,4666	0,0000

Analysis of Variance

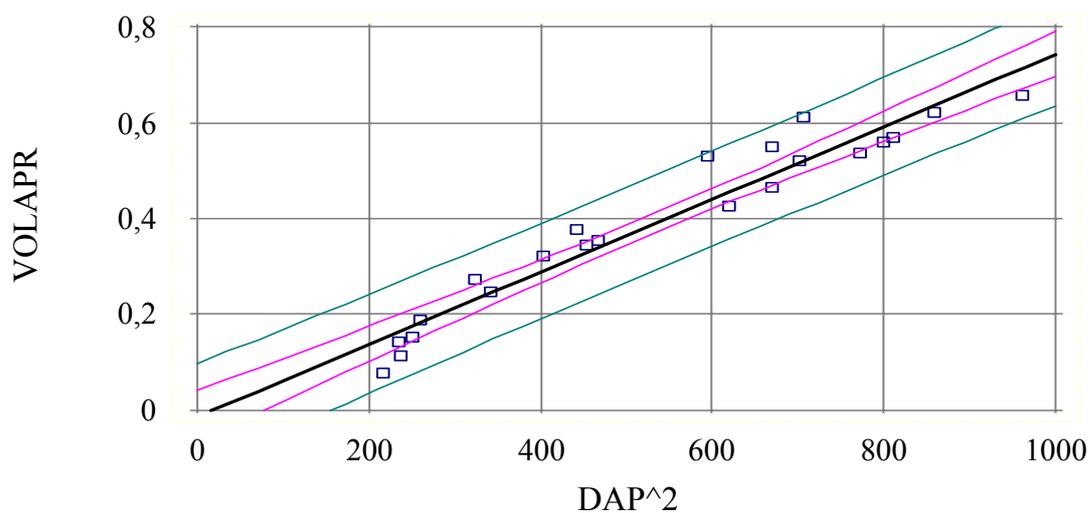
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,657979	1	0,657979	305,08	0,0000
Residual	0,0431344	20	0,00215672		
Total (Corr.)	0,701113	21			

Correlation Coefficient = 0,96875

R-squared = 93,8477 percent

Standard Error of Est. = 0,0464405

Gráfico del Modelo Ajustado



The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a linear model to describe the relationship between VOLAPR and DAP^2. The equation of the fitted model is:

$$\text{VOLAPR} = -0,0123395 + 0,000755381 \cdot \text{DAP}^2$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between VOLAPR and DAP^2 at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 93,8477% of the variability in VOLAPR. The correlation coefficient equals 0,96875, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,0464405. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

APÉNDICE 5

Resultados Análisis de regresión para Volumen Total y Volumen Aprovechable de Roble

Regression Analysis - Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Dependent variable: VOLTOT

Independent variable: DAP

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	-7,62508	0,296032	-25,7576	0,0000
Slope	2,18085	0,0947228	23,0235	0,0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

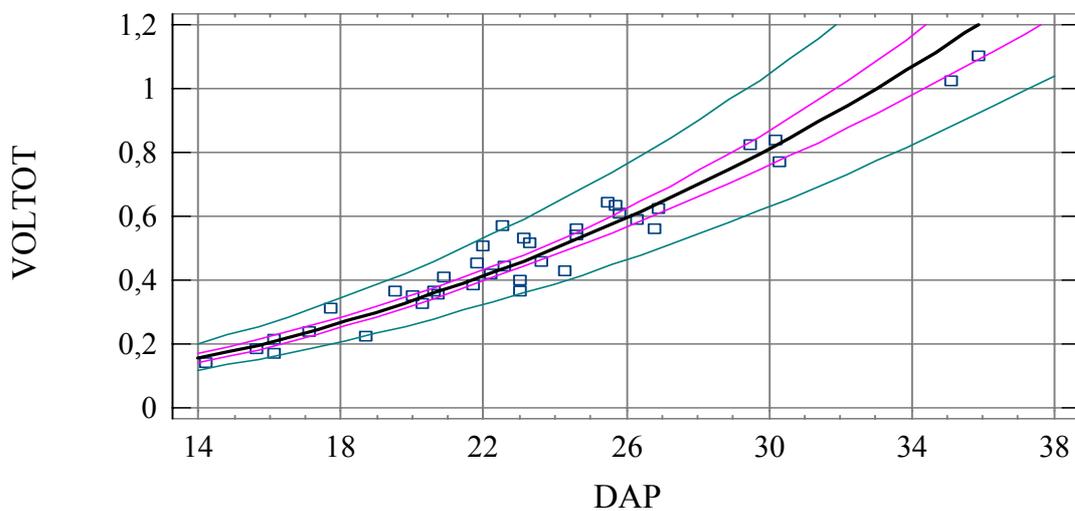
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	7,77595	1	7,77595	530,08	0,0000
Residual	0,528094	36	0,0146693		
Total (Corr.)	8,30404	37			

Correlation Coefficient = 0,96768

R-squared = 93,6405 percent

Standard Error of Est. = 0,121117

Gráfico del Modelo Ajustado



The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between VOLTOT and DAP. The equation of the fitted model is:

$$\mathbf{VOLTOT = 0,000488054 * DAP^{2,18085}}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between VOLTOT and DAP at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 93,6405% of the variability in VOLTOT after transforming to a logarithmic scale to linearize the model. The correlation coefficient equals 0,96768, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,121117. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

Regression Analysis - Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Dependent variable: VOLAPR

Independent variable: DAP

Parameter	Standard Estimate	Error	T Statistic	P-Value
Intercept	-8,18368	0,324279	-25,2365	0,0000
Slope	2,34892	0,103761	22,6378	0,0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

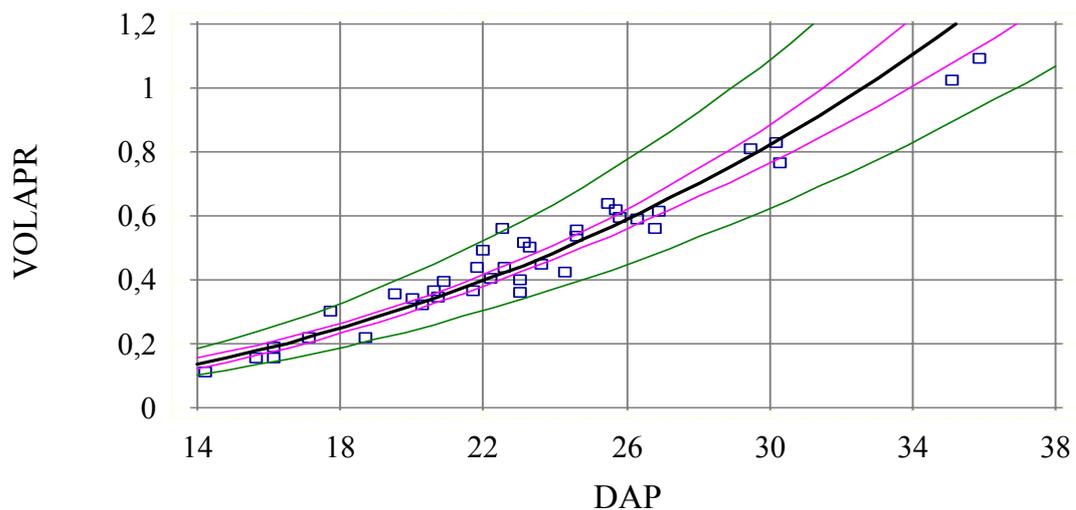
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,02065	1	9,02065	512,47	0,0000
Residual	0,633684	36	0,0176023		
Total (Corr.)	9,65434	37			

Correlation Coefficient = 0,966624

R-squared = 93,4363 percent

Standard Error of Est. = 0,132674

Gráfico del Modelo Ajustado



The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiplicative model to describe the relationship between VOLAPR and DAP. The equation of the fitted model is:

$$\text{VOLAPR} = 0,000279174 * \text{DAP}^{2,34892}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between VOLAPR and DAP at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 93,4363% of the variability in VOLAPR after transforming to a logarithmic scale to linearize the model. The correlation coefficient equals 0,966624, indicating a relatively strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,132674. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.