



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

Crecimiento y calidad de plantaciones de *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. Et Mil. en distintas exposiciones y situaciones de competencia en la Provincia de Valdivia

Patrocinante: Sr. Pablo Donoso H.

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

MARCO ALBERTO FLORES CORTÉZ

VALDIVIA
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Pablo Donoso H.	_____
Informante:	Sra. Alicia Ortega Z.	_____
Informante:	Sr. Oscar Thiers E.	_____

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 H.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi infinito agradecimiento a mi familia, sobre todo a mi madre Haydee quien me dio la vida y ha sido pilar fundamental de mi desarrollo como persona; a mi padre Alberto que, incondicionalmente, me ha apoyado en cada paso que doy; deseo también agradecer a mi tía Angélica, por su constante apoyo en mi formación profesional.

A mis tíos Zulema y Hugo, Mónica y Eduardo, a Luís (“Pichón”) y a tantos otros familiares que, si bien no aparecen en estas líneas, han contribuido a alcanzar mis metas.

Como no recordar y agradecer a mis hermanos Cesar, Miguel Ángel y Sebastián por su amistad y cariño.

A mis amigos Marcelo, Nelson, Miguel, Alex, Jorge, también a mi primo Nicolás con los cuales he compartido largas jornadas de esparcimiento en las que abundan la amistad, la camaradería y otros...

A mis compañeros y amigos de la universidad: Vitoco, Feña, Lola, Sharzz, Lolo y a tantos otros con los que compartí momentos que recordaré siempre. También a mis compañeros de énfasis y, como no, a mi colega y amigo José Luís Solís, con él, seguimos trabajando y descubriendo las maravillas de las especies de nuestro bosque.

A mi profesor y amigo Pablo Donoso, por su entusiasmo y valioso apoyo puestos, no sólo en este trabajo, si no que en todo momento en mi desarrollo como profesional.

Al profesor Oscar Thiers, por sus aportes, criticas y sugerencias que contribuyeron a mejorar de manera sustancial este trabajo, también por la amistad que me ha entregado a pesar del poco tiempo que nos conocemos.

A la profesora Alicia Ortega, quien a pesar de sus múltiples actividades, tuvo una excelente disponibilidad aportando ideas en este trabajo.

De manera especial, quiero agradecer a la persona que me ha dado la estabilidad y cariño que siempre se necesita para poder avanzar, y deseo seguir avanzando junto a ella, a mi polola Eveling Campos.

Gracias a Dios por ser coautor de este trabajo y cómplice de mis momentos más felices.

*A mi madre Haydee
A mi padre Alberto
A mi abuela Miguelina (Q.U.E.P.D.)*

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Antecedentes sobre raulí	2
2.1.1 <i>Descripción y distribución</i>	2
2.1.2 <i>Condiciones climáticas</i>	2
2.1.3 <i>Suelos y condiciones topográficas</i>	3
2.1.4 <i>Registros de crecimiento</i>	3
2.1.5 <i>Evaluación de calidad</i>	4
2.2 Acerca de las plantaciones mixtas	6
2.3 Acerca de los índices de competencia	8
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	9
3.1 Área de estudio	9
3.2 Metodología	9
3.2.1 <i>Caracterización de las plantaciones</i>	9
3.2.2 <i>Crecimiento y calidad de raulí según exposición</i>	10
3.2.3 <i>Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia</i>	12
4. RESULTADOS	14
4.1 Caracterización actual de las plantaciones de raulí	14
4.1.1 <i>Distribución diamétrica</i>	14
4.1.2 <i>Calidad y posición sociológica</i>	15
4.2 Crecimiento y calidad de raulí según exposición	17
4.2.1 <i>Crecimiento en diámetro</i>	17
4.2.2 <i>Crecimiento en altura</i>	19
4.2.3 <i>Evaluación de calidad</i>	21
4.3 Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia	21
5. DISCUSIÓN	24
5.1 Crecimiento y calidad de raulí según exposición	24
5.2 Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia	25
6. CONCLUSIONES	27
7. BIBLIOGRAFÍA	28

ANEXOS

1	Abstract and keywords
2	Disposición de las especies en la plantación mixta
3	Detalle de criterios de evaluación de calidad
4	Tablas de rodal de los rodales en estudio
5	Crecimiento acumulado, anual medio y anual corriente según rodal
6	Ranking de estadígrafos de decisión y funciones de volumen utilizadas

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Resumen de crecimientos promedio de cuatro plantaciones <i>in situ</i> de raulí	4
Cuadro 2.	Resumen de crecimientos promedio de cuatro plantaciones <i>ex situ</i> de raulí	4
Cuadro 3	Frecuencia de árboles según sanidad y forma en una plantación al norte de Valdivia	5
Cuadro 4.	Numero de árboles con buena posición relativa calificados según evaluación fustal en “malos” y “buenos” para plantaciones mixtas en la Precordillera andina de Valdivia.	5
Cuadro 5.	Descripción de los rodales en estudio	9
Cuadro 6.	Esquema de evaluación de calidad	10
Cuadro 7.	Modelos de volumen bruto y autores	12
Cuadro 8.	Parámetros descriptivos de los rodales en estudio.	14
Cuadro 9.	Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal norte.	15
Cuadro 10.	Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal sur.	16
Cuadro 11.	Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal mixto.	16
Cuadro 12	Valores máximos de IMA e ICA y crecimiento periódico anual en diámetro.	18
Cuadro 13	Valores máximos de IMA, ICA e IPA para la altura.	20
Cuadro 14	Participación de individuos según criterios de calidad	21
Cuadro 15	Variables sometidas a análisis de varianza en el rodal mixto	22
Cuadro 16	Valores máximos de IMA e ICA por situación	22
Cuadro 17	Porcentaje de individuos según calidad y situación	23

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Estructura vertical de una plantación mixta	7
Figura 2	Diferentes tipos de asociaciones en plantaciones mixtas	7
Figura 3	Diseño de área potencialmente aprovechable (APA)	8
Figura 4	Clasificación de copas de Kraft	10
Figura 5	Distribución diamétrica de los rodales puros de raulí	14
Figura 6	Distribución diamétrica del rodal mixto	15
Figura 7	Incremento corriente anual y anual medio para el DAP, según clase de tamaño, rodal exposición norte y rodal exposición sur	17
Figura 8	Incremento corriente anual y anual medio para el DAP, según rodal	18
Figura 9	Incremento corriente anual y anual medio para la altura, según clase de tamaño, rodal exposición norte y rodal exposición sur	19
Figura 10	Incremento corriente anual y anual medio para la altura, según rodal	20
Figura 11	Incremento corriente anual e incremento medio anual por situación en el rodal mixto	23

Resumen Ejecutivo

El presente estudio pretende contribuir con la investigación en plantaciones puras y mixtas de especies nativas y se ha propuesto como objetivo general: comparar el crecimiento y calidad en plantaciones de *Nothofagus nervosa* (raulí) en distintas exposiciones y en diferentes condiciones de mezcla con especies siempreverdes y caducifolias. Los objetivos específicos fueron evaluar el efecto de la exposición (norte y sur) en el crecimiento y calidad de raulí, en plantaciones puras y evaluar el efecto de la competencia arbórea más cercana (caducifolia o siempreverde) sobre el crecimiento y calidad de individuos de raulí.

Las plantaciones en estudio se encuentran en el valle central de la Provincia de Valdivia y corresponden a dos rodales puros de raulí en exposiciones norte y sur y un rodal mixto de roble-raulí-coigüe-avellano-ulmo-laurel en exposición sur, con edades entre 11 y 12 años.

En los rodales puros, el diámetro (DAP) y la altura se compararon mediante la prueba T de Student; la calidad fue comparada mediante el test de Kruskal-Wallis. El rodal norte creció, en diámetro, a un ritmo casi similar al rodal sur, a pesar que el primero presenta una densidad un 50% inferior, no presentándose diferencias significativas entre ambos. En altura el rodal de exposición sur creció a una mayor tasa que el rodal norte con diferencias altamente significativas, esto producto de las diferencias microclimáticas entre ambas exposiciones. La exposición sur presentó una mayor concentración de individuos en calidad 1, mientras que en la exposición norte la principal causa de calidad 3, fue el daño sufrido por golpes de sol. En definitiva, la exposición sur presentó una calidad significativamente superior que la exposición norte.

Para el cumplimiento del segundo objetivo específico se censaron los raulíes del rodal mixto y se les midió DAP, altura, posición sociológica y el área potencialmente aprovechable (APA), de este censo se seleccionaron las siguientes situaciones de raulí: con competencia predominante de especies siempreverde, con competencia intermedia entre siempreverdes y caducifolios y con competencia predominante de caducifolios en cada situación se seleccionaron raulíes representativos y se les extrajo tarugos de incremento, obteniendo crecimiento en DAP, las situaciones de competencia se compararon mediante análisis de varianza. No hubo diferencias significativas en crecimiento entre estas situaciones, a pesar de que hubo un marcado gradiente de crecimiento y calidad desde la situación con competencia de siempreverdes hacia la situación con competencia de caducifolios. En esta última se observaron los menores crecimientos en DAP y peor calidad de los raulíes.

Los resultados indican que la plantación de raulí parece viable sólo en exposición sur, en forma pura o mezclada y los 12 años estas plantaciones ya requieren de la aplicación de un primer raleo.

Palabras claves: Plantaciones mixtas, *Nothofagus nervosa*, crecimiento y calidad

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas el sector forestal chileno ha mostrado un desarrollo sostenido y reconocido internacionalmente, marcado por un constante aumento de la producción y niveles de exportaciones anuales. Sin embargo, este crecimiento se ha centrado en plantaciones monoespecíficas de especies de rápido crecimiento: de un total de 2.037.403 ha, el 74% está constituido por *Pinus radiata* y 18% por *Eucalyptus spp.* Esta elevada proporción de monocultivos, ha generado graves problemas de tipo fitosanitarios y de mercado (debido a las fluctuaciones de éste), lo cual ha acarreado grandes pérdidas económicas al sector (Loewe, 2005).

Este escenario indica que la diversificación de especies en las plantaciones forestales representa una necesidad real, y es por esto que es importante orientar esfuerzos en aumentar las experiencias con especies nativas, sobre todo, con plantaciones mixtas a las cuales se les atribuye una serie de ventajas sobre los rodales puros. Éstas muestran mayor estabilidad frente a factores ambientales y biológicos, mejor ocupación del sitio, mantención de la vida silvestre, protección de cuencas y valor estético del paisaje (Donoso, 1993).

Para que esta diversificación tenga éxito es necesaria la investigación, la cual se viene realizando ya desde 1952, cuando se obtuvieron las primeras experiencias con plantaciones de especies nativas, con características de ensayo, establecidas en la Cordillera de Los Andes de la X Región (Vita, 1977). No obstante, existe escasa información acerca del comportamiento de especies nativas, y particularmente de plantaciones mixtas. Por lo cual se hace necesaria la realización de estudios tendientes a revelar el comportamiento de algunas especies nativas frente a condiciones particulares.

De acuerdo a lo anterior, este estudio pretende contribuir con la investigación en plantaciones de especies nativas, y se ha propuesto como objetivo general evaluar el crecimiento y calidad en plantaciones de *Nothofagus nervosa* (raulí) en distintas exposiciones y en diferentes condiciones de mezcla con especies siempreverdes y caducifolias, a partir de tres plantaciones (una mixta y dos puras), ubicadas en un área fuera de la distribución natural de la especie, en la Precordillera de la Costa de la comuna de San José de la Mariquina, Provincia de Valdivia.

Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la exposición (norte y sur) en el crecimiento y calidad de raulí, en plantaciones puras.
- Evaluar el efecto de la competencia arbórea más cercana (caducifolia o siempreverde) sobre el crecimiento y calidad de individuos de raulí.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes sobre raulí

2.1.1 Descripción y distribución

Nothofagus nervosa (Poepp. et Endl.) Oerst. se conoce como raulí, es una especie con una distribución subantártica, monoica, caducifolia, que puede alcanzar los 40 m de altura y 2 m de diámetro (Rodríguez *et al.*, 1983).

Raulí crece naturalmente desde el sur del río Teno, en la Provincia de Curicó (35° latitud sur) hasta el sur de la Provincia de Valdivia (40° 30'), por la Cordillera de los Andes; mientras que por la Cordillera de la Costa, lo hace desde el río Itata (36° 30' latitud sur) manteniendo el mismo límite sur en su distribución (40° 30'). Se desarrolla desde los 100 m s.n.m. en su límite austral y normalmente sobre los 500 m s.n.m. en ambas cordilleras, especialmente en pendientes de exposición sur (Rodríguez *et al.*, 1983; Donoso, 1978).

En todo su rango de distribución, raulí se presenta asociado a numerosas especies arbóreas y se encuentra presente en los tipos forestales: roble-raulí-coigüe, coigüe-raulí-tepa, roble-hualo y en áreas limítrofes o ecotonales con el tipo forestal lenga, pero en forma muy marginal (Donoso, 1981). En su límite altitudinal se asocia con *N. dombeyi*, *L. philippiana*, *Saxegothea conspicua* y *Dasyphyllum diacanthoides*, mientras que en su área de menor altitud se asocia particularmente con *N. obliqua* y *Gevuina avellana*. En la parte norte de su área de distribución se asocia comúnmente con *N. obliqua*, *Drimys winteri*, *Aextoxicon punctatum* y *G. avellana*; hacia el sur con *N. dombeyi*, *E. cordifolia*, *Weinmannia trichosperma*, *L. philippiana*, *A. punctatum* y *Persea lingue* (Hernández, 1996). Grosse y Quiroz (1999) señalan que *N. nervosa* está dentro de las especies que con mayor frecuencia constituyen renovales puros, los cuales son generados, a menudo, por regeneración de monte medio.

2.1.2 Condiciones climáticas

Debido a su amplio rango de distribución natural (más de 500 km en latitud), raulí se encuentra en una gran variedad de situaciones climáticas, especialmente en el sentido latitudinal. En primer lugar existe un aumento gradual en las lluvias de norte a sur (desde 1.000 mm a 4.500 mm), y al mismo tiempo el periodo seco en verano disminuye desde cinco a seis meses en el norte hasta ningún mes seco en el sur (Donoso, 1978). Las fluctuaciones estacionales de temperatura son mucho mayores en el norte, con heladas en invierno y altas temperaturas en verano, condiciones que son menos extremas a medida que se avanza hacia latitudes más altas (Hernández, 1996). Echeverría y Lara, (2004), indican que mayores tasas de crecimiento en diámetro se asocian a un corto periodo seco y a años con regular cantidad de agua caída.

2.1.3 Suelos y condiciones topográficas

Raulí, se desarrolla principalmente en suelos de origen volcánico, situación que varía según la latitud, ya que en la zona norte crece sobre suelos rojo arcillosos o trumaos y por el sur en suelos desarrollados sobre pumicita o escoria volcánica (Donoso *et al.*, 1991). Altas tasas de crecimiento en diámetro están asociadas a suelos con textura arenosa (Echevarria y Lara, 2004)

Esta especie se desarrolla mejor en los faldeos cordilleranos y especialmente en suelos profundos bien drenados, aunque puede crecer en suelos de menor profundidad, pero no tan delgados como en los que crece *N. dombeyi*. Donoso *et al.* (1993a) señalan que raulí se desarrolla en climas mas fríos y lluviosos que *N. obliqua*, pero las mejores zonas de crecimiento para esta especie, corresponden generalmente a zonas de traslape con *N. obliqua*, es decir, de clima mas templado. Por su parte, Echevarria y Lara, (2004), señalan que altas tasas de crecimiento en diámetro se presentan en sitios ubicados en la Precordillera de los Andes de las Provincias de Valdivia y Cautín; tasas de crecimiento intermedias, se presentan en sitios costeros; y bajas tasas de crecimiento se presentan en sitios ubicados en la depresión central de las mismas provincias. Los factores limitantes más importantes para el crecimiento de raulí son las fluctuaciones de temperatura demasiado amplias, temperaturas congelantes y suelos demasiado húmedos (Donoso, 1978)

2.1.4 Registros de crecimiento

Actualmente existen diversos datos de crecimiento en plantaciones dentro del rango de crecimiento natural de la especie. Uno de los primeros antecedentes, fue el de una plantación de 16 años ubicada en la ex Reserva Forestal Llanacura, en la comuna de La Unión, Cordillera de la Costa. En estas plantaciones se obtuvo un diámetro medio de 16,5 cm y una altura media de 11 m, con crecimientos medios anuales de 1,03 cm en diámetro y de 0,7 m en altura (Grosse, 1987). En la ribera sur del Lago Villarrica, se evaluó una plantación de raulí de tres hectáreas, y en ella a los 25 años se determinaron incrementos medios de 0,72 cm en diámetro y 0,44 m en altura, $0,95 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en área basal y $6,49 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en volumen (Espinosa *et al.*, 1977). Es importante destacar que plantaciones evaluadas en Riñihue por Hernández (1996) muestran uno de los mejores crecimientos de plantaciones de raulí que se han reportado, con un incremento medio anual de 0,99 cm en diámetro y 0,95 m en altura a los 22 años.

Donoso *et al.* (1993b), estudiaron el crecimiento de varias plantaciones de roble, raulí y coigüe ubicadas en las provincias de Valdivia y Cautín, un resumen del crecimiento observado en raulí se presenta en el cuadro 1.

Cuadro1. Resumen de crecimientos promedio de cuatro plantaciones *in situ* de raulí.

Edad (años)	Ubicación	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Exposición	Crecimiento Medio Anual			
				DAP (cm)	Altura (m)	A. B. (m ² ha ⁻¹)	Vol. Br. (m ³ ha ⁻¹)
14	Panguipulli	1.780	NO	0,89	0,87	1,88	12,05
14	Choshuenco	2.000	NO	0,88	0,75	1,75	9,05
15	Puerto Fuy	3.333	SO	0,85	0,73	3,07	16,54
16	Enco	1.392	SE	0,84	0,92	1,31	8,92

Fuente: Donoso *et al.* (1993b)

Además de las plantaciones *in situ* señaladas, existen algunas experiencias de plantaciones establecidas en zonas fuera del área de distribución natural de la especie (que es el caso de las plantaciones de este estudio). Meneses *et al.* (1991) señalan crecimientos medios anuales de 0,67 cm de DAP y 0,63 m en altura a los 15 años, en la localidad de Chaquihual en Chiloé. Del mismo modo, Reyes *et al.* (2004) evaluaron una plantación de la especie en el predio Las Palmas, en la Depresión Intermedia de Valdivia, la que tuvo un crecimiento entre 0,39 y 0,61 cm año⁻¹ en diámetro. Al respecto, el cuadro 2 muestra un resumen de crecimiento en plantaciones de raulí fuera del rango de distribución natural de la especie.

Cuadro 2. Resumen de crecimientos promedio de cuatro plantaciones *ex situ* de raulí.

Edad (años)	Ubicación	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Crecimiento Medio Anual	
			DAP (cm)	Altura (m)
12	Valdivia	550	0,60	0,52
13	Chiloé	1.400	0,82	0,85
14	Frutillar	s/i	0,70	0,51
13	Riñihue	2.050	0,95	1,05

Fuente: Donoso *et al.* (1999); Meneses *et al.* (1991)

Por último, es importante destacar que las experiencias con plantaciones de raulí no sólo se limitan al territorio nacional, ya que desde 1913 se han establecido plantaciones de la especie en distintos sitios en Gran Bretaña, determinándose distintas clases de rendimiento. Resumiendo los valores obtenidos en los mejores sitios, se puede señalar que en la clase de rendimiento 18 se obtuvo un DAP medio de 12,1 cm y una altura dominante de 12,5 m, a los 12 años; mientras que en la clase de rendimiento 16, se obtuvo un DAP medio de 11,7 cm y una altura dominante de 12,4 m a los 13 años (Tuley, 1980).

2.1.5 Evaluación de calidad

Aunque los estudios sobre calidad en raulí son escasos, existen algunos registros, como el de Reyes *et al.* (2004), los cuales evaluaron una plantación al norte de Valdivia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Frecuencia de árboles según sanidad y forma en una plantación al norte de Valdivia.

Sitio	Forma (%)			Sanidad (%)		
	Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala
1	34	46	20	71	17	11
2	32	27	40	55	40	5
3	48	45	7	52	38	10

Fuente: Reyes *et al.* (2004)

Cabe señalar que aunque esta plantación se encuentra fuera del área de distribución natural de la especie los resultados de sanidad y forma fueron mayoritariamente buenos en los tres sitios.

Wienstroer *et al.* (2003) estudiaron el estado de desarrollo de plantaciones mixtas de roble (*Nothofagus obliqua*), raulí, coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), en la X Región, en relación al crecimiento y calidad, y en función de los factores de exposición y sombra lateral (claros y campo abierto). Estos autores analizaron la situación de competencia a escala individual, para lo cual clasificaron los individuos según su posición relativa frente a sus cuatro vecinos más cercanos y además evaluados según la calidad de sus fustes. El porcentaje de árboles de buena calidad siempre fue mayor en los claros en relación a plantaciones hechas en campo abierto (con la excepción de coigüe). La tasa de árboles futuro fue generalmente más alta en las laderas asoleadas que en las laderas sombrías. Cabe mencionar, también, que pino oregón presentó muy pocos árboles futuro en las plantaciones en campo abierto, y sólo resultó ser prometedor como especie en mezcla con las demás en los claros. Calculado sobre todas las condiciones de sitio, presentaron mayor porcentaje de árboles de buena calidad roble y raulí, seguido por pino oregón, mientras que coigüe ocupó el último lugar (cuadro 4).

Cuadro 4. Número de árboles con buena posición relativa calificados según evaluación fustal en "malos" y "buenos" para plantaciones mixtas en la Precordillera andina de Valdivia.

Parcela	Número de árboles dominantes Total malos buenos %															
	Roble				Raulí				Coigüe				Pino oregón			
Campo abierto Ladera asoleada	278	140	138	49	203	105	98	48	189	186	3	2	63	46	17	27
Campo abierto Ladera sombría	256	14	42	16	291	238	53	18	154	130	24	16	32	25	7	22
Promedio campo abierto	267	177	90	33	247	172	76	33	172	158	14	9	48	46	12	25
Claro Ladera asoleada	175	63	112	64	56	28	28	50	322	217	105	33	259	126	133	51
Claro Ladera sombria	273	161	112	41	147	77	70	48	252	189	63	25	182	91	91	50
Promedio claros	224	112	112	53	102	53	49	49	287	203	84	29	221	109	112	51

Fuente: Wienstroer *et al.* (2003)

2.2 Acerca de las plantaciones mixtas

Las plantaciones mixtas son modelos que asocian dos o más especies que generan productos de alto valor al final de la rotación (Loewe, 2005). Estos modelos de producción mixta representan una alternativa silvícola que presentan una serie de ventajas respecto a rodales puros. Al respecto, Donoso (1993) y Loewe (2005), señalan algunas de estas ventajas:

- Diversificación de la producción. Se puede obtener madera de varias especies que pueden tener la misma rotación o rotaciones distintas. También se pueden considerar especies que aporten productos complementarios, tales como leña, forraje, miel, frutos, u otros de interés.
- Disminución de los riesgos. Este tipo de asociación disminuye los riesgos debidos a incertidumbres económicas, por variaciones de los mercados y por la duración de los ciclos de cultivo. Asimismo disminuye los riesgos asociados a elementos bióticos (como insectos u hongos) y abióticos (heladas, viento o insolación).
- Aumento de las potencialidades productivas. Se logra a través de asociaciones que activen las peculiaridades productivas de cada especie, o del uso de especies que contribuyan a mejorar las características del sitio.
- Mejoramiento de la calidad de la madera. Con asociaciones apropiadas es posible obtener fustes rectos de mayores dimensiones, con ramas de menor diámetro, lo que lleva a obtener producciones cualitativamente superiores a las obtenidas en plantaciones puras.
- Disminución y simplificación de algunas técnicas de cultivo. A través del uso de especies acompañantes que inducen a las especies de mayor valor a desarrollarse en forma más recta y con ramas más finas, requiriendo de esta forma podas menos intensivas y por ende menos traumáticas. Otro caso es el uso de arbustos que cubren el terreno, eliminando las malezas y su consiguiente competencia, haciendo de esta forma innecesaria las operaciones de limpieza.
- Mejoramiento del paisaje y del ambiente. Una población compuesta por varias especies es más agradable estéticamente, y puede acoger mayor cantidad de fauna, con lo que eventualmente mejoran las posibilidades de desarrollar actividades turísticas y recreacionales.

A pesar de estas ventajas, existen una serie de requisitos que deben cumplir las especies que conformen un rodal mixto. Kelty (1992) menciona tres de estos requisitos:

- Las especies deben tener diferencias en cuanto a su altura, forma o eficiencia fotosintética del follaje.
- Las especies deben tener diferencias en su fenología, como por ejemplo en los periodos de producción de follaje y duración de actividades fotosintéticas.
- Deben existir diferencias en la estructura radicular, particularmente en cuanto a su profundidad.

Este mismo autor, señala que la estructura más productiva no es aquella con un dosel de una especie tolerante bajo otro de una especie intolerante, si no más bien, una estructura con un dosel dominante relativamente abierto bajo el cual crece la especie tolerante no completamente suprimida. Esta última, debe ocupar un dosel codominante, aprovechando el espacio de la copa baja, más ineficiente de la especie del dosel dominante (figura 1).



Figura 1. Estructura vertical de una plantación mixta a) estructura menos productiva, b) estructura más productiva, según Kelty (1992).

Por su parte Loewe (2005) clasifica las plantaciones mixtas en tres tipos de asociaciones, según la disposición de las especies en terreno (figura 2).

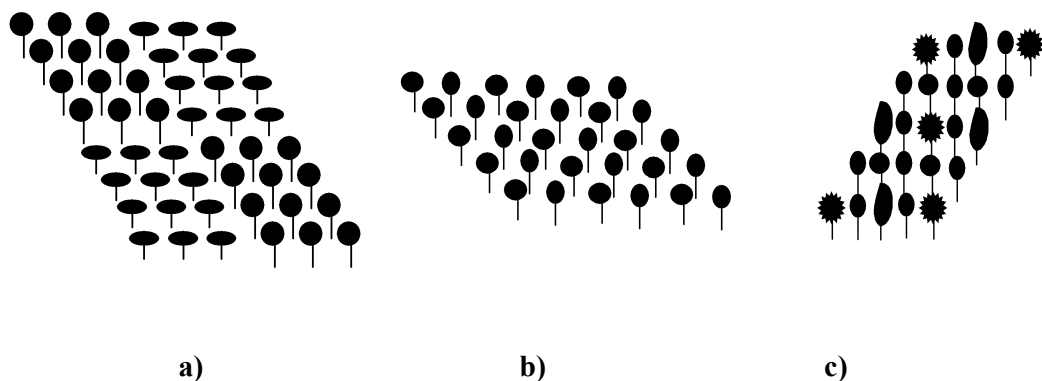


Figura 2. Diferentes tipos de asociaciones en plantaciones mixtas, a) en grupos, b) en hilera, c) por árboles individuales; según Loewe (2005).

2.3 Acerca de los índices de competencia

Uteau (2004) señala que los índices de competencia se dividen en dos, separándose si éstos miden los árboles individualmente o el rodal como un todo. Dentro de la amplia gama de índices de competencia se pueden distinguir varios grupos, como los índices independientes de la distancia, índices dependientes de la distancia, índices de área de traslape e índices de competencia de forma poligonal. A este último grupo pertenece el índice usado en este trabajo y se define como área potencialmente aprovechable (APA). El APA es un polígono irregular formado alrededor de un árbol sujeto (s), cuyos lados son rectas trazadas entre los árboles competidores (c) y el sujeto. Estas rectas se ubican en 90° en relación a una recta trazada entre los fustes de ambos árboles. Las intersecciones entre estas rectas definen los vértices del polígono (figura 3,a).

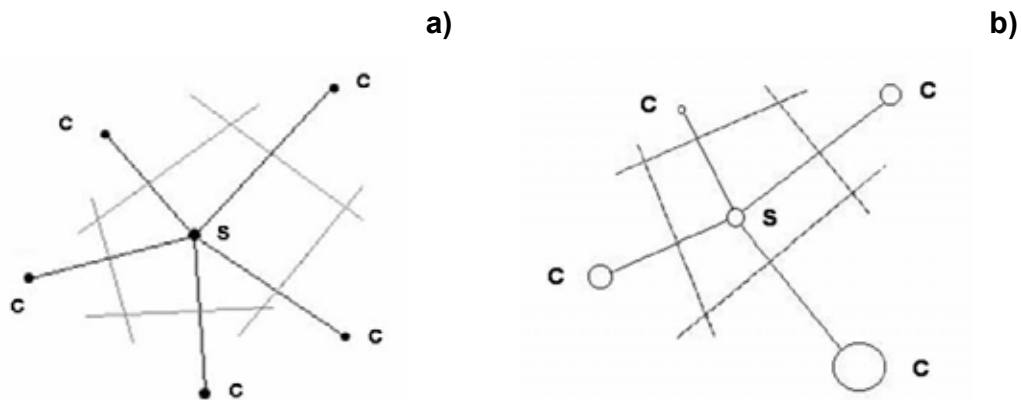


Figura 3. Diseño del Área Potencialmente Aprovechable (APA), **a)** esquema original, **b)** según Moore *et al.* (1973), **s:** Individuo objetivo, **c:** Individuos competidores.

Este modelo presenta un error al no ponderar las diferencias de tamaños entre competidores y sujeto. Moore *et al.* (1973) modificaron este esquema ubicando las transversales no en el centro, sino proporcional al área basal de los individuos (figura 3, b).

Para este caso el punto medio entre los árboles es proporcional al área basal y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$DP_{sc} = \frac{D_s^2}{(D_s^2 + D_c^2)} \times D_{sc}$$

Donde: DP_{sc} = Punto medio entre competidor y sujeto

D_s = Área basal del árbol sujeto

D_c = Área basal del árbol competidor

D_{sc} = Distancia entre árbol sujeto y competidor

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Área de estudio

El predio Chucaypulli está ubicado a 7 km al sudoeste de San José de la Mariquina, (39° 31' 8" latitud sur y 73° 3' 19" longitud oeste). El clima de la zona corresponde al tipo templado cálido con menos de cuatro meses secos, además presenta la particularidad de pertenecer a la denominada "cuenca o depresión de San José de la Mariquina", zona que presenta cierta influencia mediterránea debido a la sombra del cordón occidental de la cordillera de la Costa (CEA, 2006).

Este predio cuenta con 70 ha en las que se encuentran diversos ensayos de plantaciones de especies nativas, existiendo rodales puros y mixtos. Los suelos pertenecen a la serie Pelchuquín, caracterizada por presentar suelos profundos de cenizas volcánicas sobre una toba cementada con óxidos de hierro y manganeso, de textura franco limosa y buen drenaje (CIREN, 1999). La topografía del predio es de lomajes suaves y la elevación aproximada es de 100 m s.n.m.

3.2 Metodología

3.2.1 Caracterización de las plantaciones.

Los rodales en estudio corresponden a dos plantaciones puras de raulí y una mixta, cuyas características se muestran en el Cuadro 5. En todas las plantaciones se usaron plantas 1/1 a raíz desnuda provenientes del vivero del Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral de Chile. Estas plantas tenían una altura media de aproximadamente 80 cm. En las plantaciones puras el distanciamiento medio fue de 2x2 m y en la mixta de 2x2,5 m. La disposición de especies de la plantación mixta se detalla en el anexo 2.

Cuadro 5. Descripción de los rodales en estudio.

Rodal	Exposición	Año de plantación	Superficie (ha)	Densidad de plantación (árboles ha ⁻¹)
Puro raulí	Norte	1993	0,15	2.500
Puro raulí	Sur	1993	0,15	2.500
Mixto (roble, coigüe, avellano, ulmo, laurel)	Sur	1994	0,80	2.000

La caracterización actual de estas plantaciones se llevó a cabo mediante un censo en las dos plantaciones puras y mediante dos parcelas circulares de 500 m² cada una, dispuestas al azar en la plantación mixta.

3.2.2 Crecimiento y calidad de raulí según exposición

En ambos rodales puros de raulí, se efectuó un censo de todos los individuos, dejando fuera una hilera de árboles perimetrales, esto con el fin de evitar efecto borde. En el censo se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho), altura total, posición sociológica según la clasificación de copas de Kraft (figura 4).

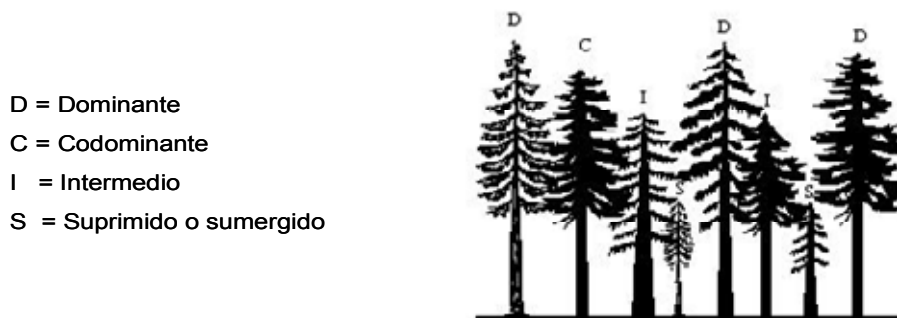


Figura 4. Clasificación de copas de Kraft, según Donoso (1993).

Además se realizó una evaluación de calidad, la cual está compuesta por cuatro criterios (cuadro 6), cuyos detalles se presentan en el anexo 3.

Cuadro 6. Esquema de evaluación de calidad.

Daño		Grosor de las ramas	
1	Sin daño	1	Ramas muy finas
2	Con daño o bifurcación sobre 6 m	2	Ramas finas
3	Bifurcación abajo de 6 m	3	Ramas gruesas
Rectitud del fuste		Corte transversal del fuste	
1	Recto	1	Forma circular
2	Ligeramente curvado	2	Ligeramente elíptico
3	Fuertemente curvado y/o torcido	3	Elíptico

El cuadro 6, corresponde a una versión simplificada de la creada por Wienstroer *et al.* (2003), la cual fue usada para la evaluación de calidad en plantaciones mixtas de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii*. Los criterios aquí usados parecen ser los adecuados para evaluar la plantación en estudio.

Cada individuo fue evaluado con cada uno de los cuatro criterios, asignándole una calificación (1, 2 ó 3), las que se sumaron obteniendo así un puntaje total por individuo. Este puntaje es el calificativo final de la calidad, de tal modo que un puntaje 4 ó 5 representa un individuo de calidad 1; un puntaje 6, 7 u 8 representa calidad 2, y un individuo con puntaje igual o superior a 9 representa calidad 3. También se consideró de calidad 3, aquel individuo que presente una calificación 3 en cualquiera de los cuatro criterios mencionados en el cuadro 6. Un ejemplo de evaluación de calidad se muestra en el anexo 3.

Una vez medidas las variables antes mencionadas, se confeccionaron tablas de rodal para cada una de las exposiciones. A partir de éstas, se creó una gráfica de distribución diamétrica, y se seleccionaron individuos para un análisis fustal. La elección se hizo considerando los siguientes criterios:

- Cinco individuos medianos
- Cinco individuos pequeños
- Cinco individuos grandes

Los individuos medianos corresponden a árboles que presentaban un DAP similar al diámetro medio cuadrático (DMC), con un rango de tolerancia de +/- 0,5 cm; los individuos pequeños corresponden a árboles con DAP similar al DMC - 1 desviación estándar (+/- 0,5 cm); y por último, los individuos grandes corresponden a árboles que presentaban valores de DAP similares al DMC + 1 desviación estándar, con el mismo rango de tolerancia de selección que los grupos anteriores.

Cada árbol seleccionado fue volteado, y se le extrajeron rodela a intervalos de 1,5 m desde el nivel del suelo hasta un índice de utilización de 3 cm, además de una rodela a la altura del DAP y otra a nivel de tocón (0,3 m). Las rodela fueron secadas a temperatura ambiente y luego pulidas en una cara mediante un proceso de lijado con diferentes granulometrías. En cada rodela se marcaron los puntos cardinales con el propósito de hacer dos mediciones con pie de metro, así se obtuvieron valores promedio del diámetro de los anillos en cada rodela.

A partir de los datos proporcionados por las rodela de los tres grupos de individuos de cada rodal, se realizó un análisis fustal utilizando el programa Microsoft Excel®, obteniendo así los cálculos de incremento medio anual (IMA), incremento periódico anual (IPA) para los últimos tres años y el incremento corriente anual (ICA) tanto para el DAP como para la altura total.

Para el cálculo del volumen de cada rodal, se utilizaron los mismos individuos del análisis fustal, con los cuales se procedió a ajustar varios modelos de volumen utilizados por diversos autores en estudios relacionados con la especie. Para realizar la etapa de selección del modelo se siguió la metodología utilizada por Barría (1996), de acuerdo a un método de *ranking* (CAO *et al.*, 1980), basado en los siguientes indicadores de la bondad de ajuste:

- El mayor coeficiente de determinación (R^2)
- El menor error estándar de la estimación (EEE)
- El mayor valor "F" calculado (nivel de confianza de 95%).

Los modelos sometidos a *ranking* se muestran en el cuadro 7 y el ajuste se realizó mediante el método de los mínimos cuadrados utilizando el programa estadístico SYSTAT 11.0.

Cuadro 7. Modelos de volumen bruto y autores.

variable	Número	Modelo	Autor
Volumen	1	$b_0 + b_1 d^2 h$	Spurr (1952)
	2	$b_0 + b_1 d^2$	Kopezki-Gehrhardt
	3	$b_0 + b_1 d^3$	s/i
Ln (volumen)	4	$b_0 + b_1 \ln(d^2 h)$	Spurr (1952)

Los rodales en ambas exposiciones fueron analizados como dos tratamientos distintos, y la comparación se hizo en base a una prueba T de Student para comparación de medias de dos poblaciones independientes. Las variables analizadas fueron DAP, altura total, área basal, volumen, IMA, ICA e IPA (para el DAP y la altura). En cuanto al análisis de calidad, la comparación se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis, la cual plantea una hipótesis nula de igualdad en las medianas de la variable calidad, dentro de cada uno de los niveles de exposición.

3.2.3 Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia

En el rodal mixto se realizó un censo de todos los individuos de raulí. A cada uno de ellos se les midió DAP, altura total, posición sociológica y calidad (según cuadro 6). A partir de este censo y de la plantación pura de exposición sur, fue posible encontrar distintas situaciones de raulí en relación a sus competidores más cercanos:

- Raulí con competencia predominante de siempreverdes
- Raulí con competencia mixta de siempreverdes y caducifolios
- Raulí con competencia predominante de caducifolios

La primera situación corresponde a raulíes rodeados de cuatro especies siempreverdes o al menos de tres siempreverdes y un caducifolio, la segunda situación corresponde a raulíes rodeados de dos especies siempreverdes y dos especies caducifolias y la tercera situación corresponde a raulíes rodeados de cuatro especies caducifolias o al menos de tres especies caducifolias y una siempreverde (anexo 2).

Para que estas situaciones pudieran ser comparables entre sí, fue necesario que raulí presentara un índice de competencia similar en cada caso. Por lo tanto, en cada situación observada se calculó el área potencialmente aprovechable (APA) según Moore *et al.* (1973), para lo cual además de las variables mencionadas anteriormente, se midió la distancia, DAP, altura total y posición sociológica de los competidores más cercanos, así como el azimut de raulí con respecto a cada uno de ellos. Según el resultado que arrojó este indicador, se seleccionaron tres repeticiones de cada situación, teniendo como criterio la selección de las repeticiones que presentaron valores de APA similares.

En cada repetición de las tres situaciones, se obtuvieron dos tarugos de incremento por individuo, los cuales fueron montados en soportes rígidos y posteriormente pulidos para la medición del ancho de anillos, promediando las mediciones de los dos tarugos de un mismo individuo. Con los datos, se construyeron curvas de crecimiento en diámetro para cada situación.

Las situaciones de crecimiento individual de raulí en función de sus competidores, se analizaron como distintos tratamientos y las variables que se compararon fueron DAP, altura total, área basal, volumen, calidad, IMA, ICA e IPA para el DAP. La comparación se realizó mediante un análisis de varianza, acompañado de la prueba de Tukey para efectos de comparar las medias y determinar entre qué tratamientos existían diferencias significativas ($\alpha=0,05$). Para el caso de la variable calidad, esta fue evaluada en base a la totalidad de los raulíes censados y la comparación se hizo mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterización actual de las plantaciones

4.1.1 Distribución diamétrica

El rodal puro de exposición norte presentó un DMC de 9,9 cm, mientras que en el rodal de exposición sur este valor fue levemente inferior, con 9,2 cm. El área basal del rodal exposición norte alcanzó los 10,5 m² ha⁻¹ resultando ser más baja que los 14,2 m² ha⁻¹ del rodal de exposición sur. En altura, el rodal sur presentó una media mayor que el rodal norte, alcanzando una diferencia de más de un metro entre ambos. La alta mortalidad en el rodal de exposición norte trajo como consecuencia que éste tenga en la actualidad la mitad de densidad que el rodal sur (cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros descriptivos de los rodales en estudio.

Rodal	Densidad actual (árboles ha ⁻¹)	Mortalidad (%)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Volumen* (m ³ ha ⁻¹)	DMC (cm)	Altura media (m)
Norte	1.242	50	10,5	23,7	9,9	7,2
Sur	2.088	16	14,3	46,2	9,2	10,7
Mixto	1.910 (280)	5	22,7 (2,1)	112,3 (8,1)	12,3 (9,7)	10,6 (11,7)

*: Funciones de volumen usadas se entregan en anexo 6

(): Valores de raulí

La densidad actual del rodal exposición norte es de 1.242 árboles ha⁻¹, los cuales se distribuyen, en su mayoría, en las tres primeras marcas de clase, produciéndose una curva semejante una distribución normal (figura 5 a). La distribución diamétrica del rodal sur sigue un patrón algo distinto al rodal de exposición norte, concentrando una alta participación de individuos en la clase 6,5 cm (figura 5 b). Sin embargo, en ambos casos la moda se ubica en la marca de clase de 9,5 cm.

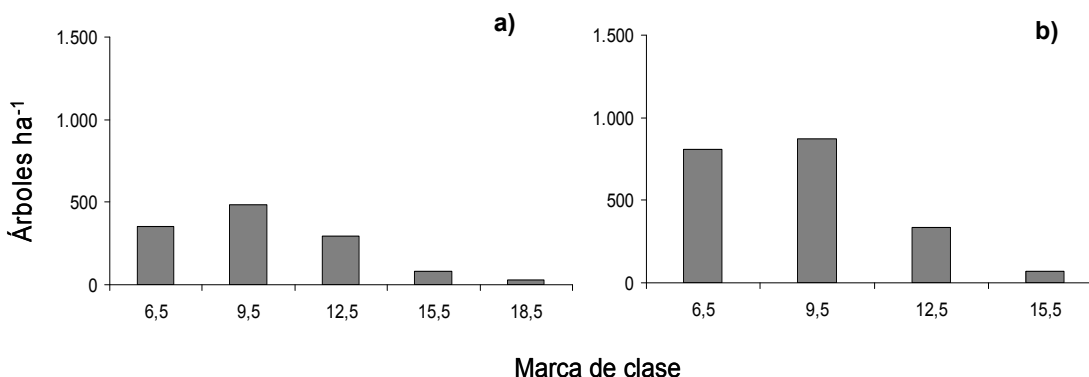


Figura 5. Distribución diamétrica de los rodales puros de raulí **a)** exposición norte, **b)** exposición sur

El rodal mixto presentó la más baja mortalidad, así como mayor área basal y volumen (cuadro 8). Coigüe es la especie con mayor participación en densidad y área basal, con un 50% y un 68% respectivamente, presentando individuos de hasta 25 cm. Roble representa un 25% del total de los árboles del rodal y su área basal

alcanza al 19%. Raulí, es la tercera especie en participación en este rodal, con un 14% en densidad y un 9% en área basal. Avellano y ulmo son las especies que poseen una menor participación, ambas representan un 10% del rodal, mientras que en área basal la participación de éstas alcanza sólo a un 4% (figura 6 b).

Nótese la ausencia de laurel en la tabla de rodal (anexo 4), esta especie tiene una muy baja presencia en el rodal, no registrándose ésta dentro del área del muestreo efectuado.

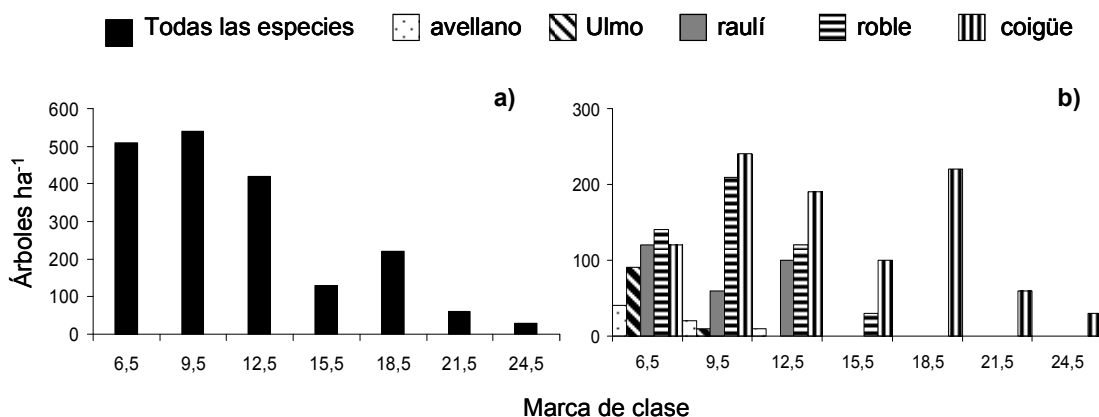


Figura 6. Distribución diamétrica del rodal mixto a) todas las especies, b) por especie

4.1.2 Calidad y posición sociológica

En el rodal de exposición norte, la distribución de individuos por calidad fue homogénea para las tres categorías (cuadro 9). En cuanto a la posición sociológica, un 86% de árboles en este rodal son dominantes, un 14% se ubican en el estrato intermedio, y un 1% en el estrato suprimido (cuadro 9), en el estrato codominante no se presentan individuos.

Cuadro 9. Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal norte.

Marca de clase	Calidad 1				Calidad 2				Calidad 3				TOTAL	%
	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.		
6,5	81	0	45	0	63	0	63	0	45	0	54	0	351	28
9,5	126	0	0	0	207	0	9	0	144	0	0	0	486	39
12,5	117	0	0	0	108	0	0	0	72	0	0	0	297	24
15,5	18	0	0	0	9	0	0	0	54	0	0	0	81	7
18,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	9	27	2
TOTAL	342	0	45	0	387	0	72	0	333	0	54	9	1.242	
%	28	0	4	0	31	0	6	0	27	0	4	1		

Para el rodal exposición sur la calidad de los árboles fue claramente superior. Los individuos con calidad 1 representan más del 50% del total, mientras que un 33% presentó calidad 2 y sólo un 16% presentó calidad 3 (cuadro 10). Un 95% de los árboles se concentran en el estrato dominante, lo cual representa una mayor proporción de estos individuos comparado con el rodal norte; un 5% se concentran en el estrato intermedio, un 1% en el estrato suprimido, mientras que en el estrato codominante no se encontraron individuos (cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal sur.

Marca de clase	Calidad 1				Calidad 2				Calidad 3				Total	%
	Dom.	Cod.	Int.	Sup	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.		
6,5	495	0	54	9	189	0	27	9	18	0	0	9	810	39
9,5	396	0	0	0	360	0	9	0	108	0	0	0	873	42
12,5	99	0	0	0	90	0	0	0	144	0	0	0	333	16
15,5	9	0	0	0	9	0	0	0	54	0	0	0	72	3
TOTAL	999	0	54	9	648	0	36	9	324	0	0	9	2.088	
%	48	0	3	0	31	0	2	0	16	0	0	0		

En el rodal mixto, un 85% del total de los individuos presentó calidad 1; un 10% presentó calidad 2 y un 5% calidad 3. (cuadro 11) Se aprecia que ulmo resultó ser la especie con una mejor calidad, concentrando la totalidad de los individuos en la calidad 1. Raulí es, dentro de los *Nothofagus* presentes en este rodal, el que presentó mejor calidad con más de un 90% de los individuos en la calidad 1 y sólo un 7% en calidad 3. Por su parte, roble y coigüe resultaron ser las especies que concentraron un mayor porcentaje de individuos en las calidades 2 y 3 (cuadro 11).

Cuadro 11. Distribución de individuos por calidad y posición sociológica en el rodal mixto.

especie	calidad 1						calidad 2						calidad 3					
	do.	co.	in.	su*	Total	%	do.	co.	in.	su*	Total	%	do.	co.	in.	su*	Total	%
roble	260	70	80	10	420	21	40	20	0	10	70	4	0	0	10	20	30	2
raulí	150	60	50	0	260	13	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	1
coigüe	640	70	110	10	830	42	40	40	20	10	110	6	20	30	0	10	60	3
ulmo	0	0	90	20	110	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
avellano	0	10	40	10	60	3	0	0	10	0	10	1	0	0	0	0	0	0
Total	1.050	210	370	50	1.680	85	80	60	30	20	190	10	40	30	10	30	110	6

(*): Suprimido en caso de especies intolerantes, sumergido en caso de especies tolerantes

Es clara la alta participación de los tres *Nothofagus* del rodal en la clase de copa dominante, sobre todo de coigüe, especie que posee un alta participación en las marcas de clase superiores (figura 6 b), concentrando una alta participación de individuos dominantes en el rodal. Por otro lado, es importante destacar que raulí es el único *Nothofagus* que no presenta individuos suprimidos; más del 50% de sus individuos son dominantes; ulmo y avellano, especies semitolerantes, se encuentran ocupando los estratos inferiores del dosel (cuadro 11).

4.2. Crecimiento y calidad de raulí según exposición

4.2.1 Crecimiento en diámetro

Al año 12 el crecimiento en diámetro que ha alcanzado el rodal norte es de 94 mm, resultando ser más alto que los 88 mm de DAP medio que ha alcanzado el rodal sur, aunque esta diferencia resultó no significativa ($p=0,074$). Al analizar los individuos según rango de tamaño, se observa que los individuos pequeños del rodal norte presentan un crecimiento acumulado de 49 mm, mientras que en el rodal sur este valor es significativamente más alto ($P=0,037$) con 64 mm. Para el caso de los árboles medianos el rodal norte alcanza 84 mm, valor similar al rodal sur con 83 mm ($P=0,667$); para los individuos grandes el rodal norte alcanza 109 mm y el mismo

grupo para el rodal sur presenta una diferencia no significativa ($P=0,627$) con 107 mm (anexo 5).

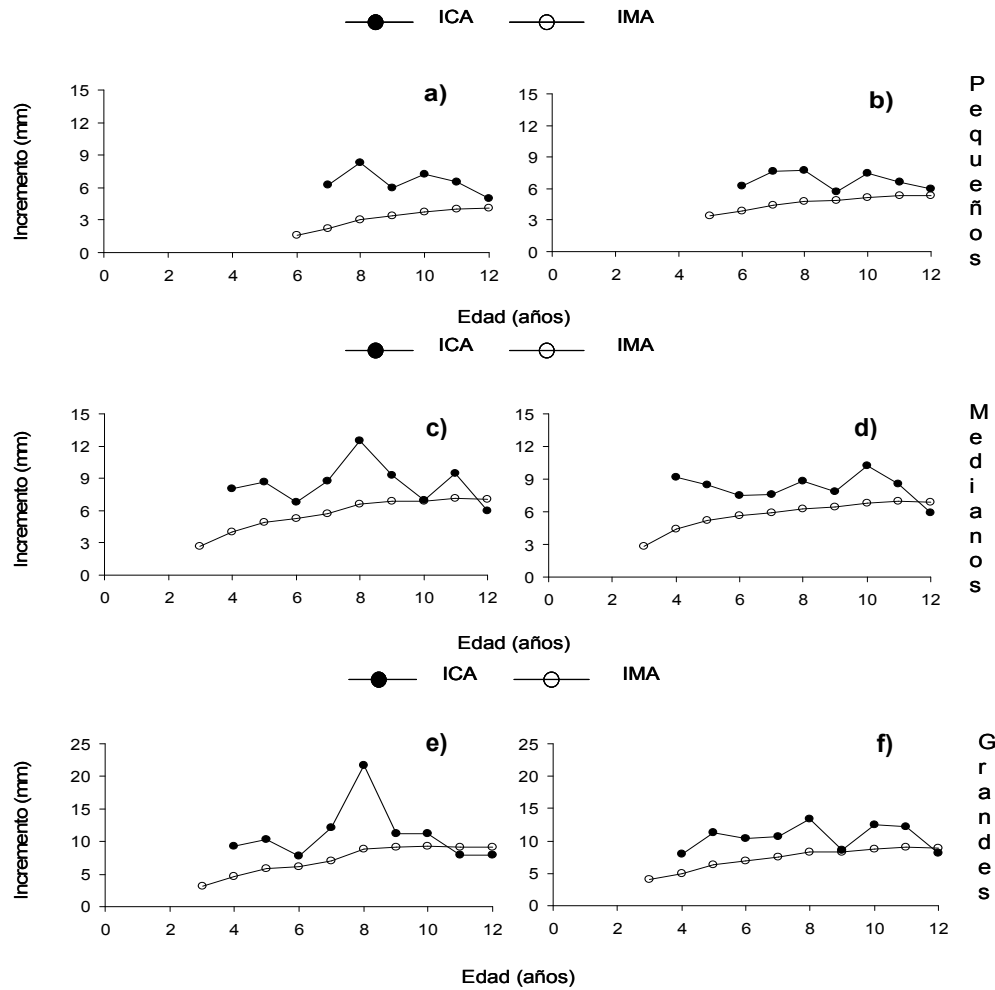


Figura 7. Incremento corriente anual (ICA) y anual medio (IMA) para el DAP, según clase de tamaño: **a)** pequeños, **c)** medianos, **e)** grandes, rodal exposición norte; **b)** pequeños, **d)** medianos, **f)** grandes, rodal exposición sur.

Como se aprecia en la figura 7, las curvas de ICA e IMA no comienzan desde el año 1, sino que desde el año en que la totalidad de individuos seleccionados por rango de DMC alcanzaron valores de DAP. Esto ocurrió a partir de los seis años en los árboles pequeños, y desde los tres años en los individuos medianos y grandes.

De la figura anterior y el cuadro 12, se observa que en los tres grupos de individuos el ICA resultó mayor en el rodal norte que en el rodal sur, pero en ninguno de estos casos las diferencias fueron estadísticamente significativas ($P=0,499$ pequeños, $p=0,799$ medianos y $P=0,904$ grandes). Para el caso del IMA, el rodal norte presentó valores más altos en los grupos mediano y grande, aunque las diferencias no fueron significativas ($P=0,974$ y $P=0,925$, respectivamente); en cambio en la clasificación pequeños el rodal sur presentó valores significativamente más altos ($P=0,001$). El incremento periódico anual (IPA), presentó mayores valores en los tres grupos de individuos del rodal sur, sin embargo las diferencias no resultaron significativas ($P=0,757$ pequeños, $P=0,465$ medianos, $P=0,282$ grandes). Un resumen con los valores máximos de IMA e ICA se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Valores máximos de IMA e ICA y crecimiento periódico anual en diámetro.

	Norte				Sur			
	Pequeño	Mediano	Grande	Promedio	Pequeño	Mediano	Grande	Promedio
IMA	4,1	7,1	9,3	6,8	5,3	7,0	9,0	7,1
ICA	8,3	12,5	21,7	14,2	7,7	10,2	13,3	10,4
IPA	6,3	7,5	9,2	7,7	6,7	8,3	10,9	8,6

Al analizar y comparar las curvas de ambos rodales, sin considerar grupos de individuos, se aprecia que los rodales han crecido a una tasa similar de ICA e IMA, la diferencia mas notable es el marcado *peak* (año 8) que muestra la curva de ICA en el rodal de exposición norte. El desarrollo de las curvas de ambos rodales no presentaron diferencias significativas ($P=0,493$ para el IMA y $P= 0,899$ para el ICA). (Figura 8).

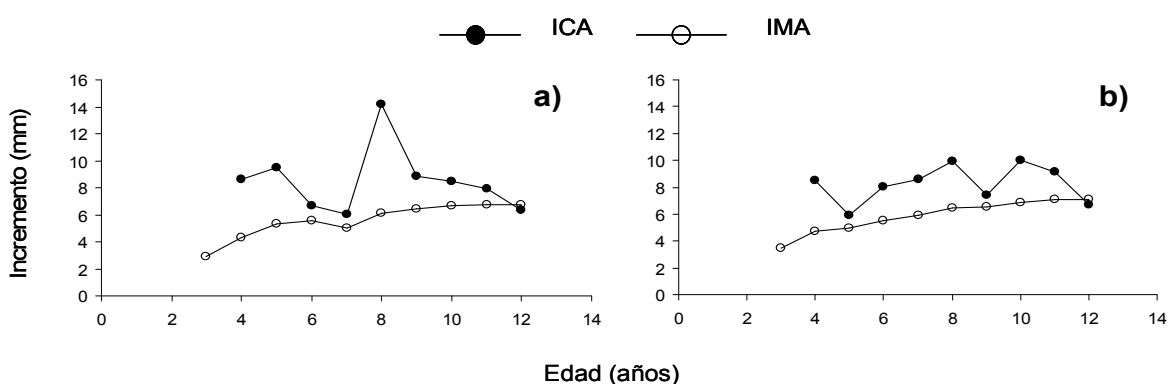


Figura 8. Incremento corriente anual (ICA) y anual medio (IMA) para el DAP, según rodal **a)** rodal exposición norte, **b)** rodal exposición sur

Es importante mencionar que el área basal resultó significativamente más alta ($P=0,013$) a nivel individual y a nivel de rodal en la exposición sur; por su parte el volumen también registró diferencias significativas ($P=0,002$), alcanzando valores más altos nuevamente el rodal de exposición sur.

4.2.2 Crecimiento en Altura

La altura alcanzada al año 12 por el rodal exposición norte en los individuos pequeños fue de 6,0 m, cifra bastante menor que la observada en el mismo grupo del rodal sur con 9,3 m; para los individuos medianos la situación fue similar (6,9 m para el rodal norte y 9,8 m para el rodal sur); en el caso de los individuos grandes se dio una similar tendencia, aunque la diferencia entre rodales fue más acentuada registrándose 7 m para el rodal norte y 11 m para el rodal sur.

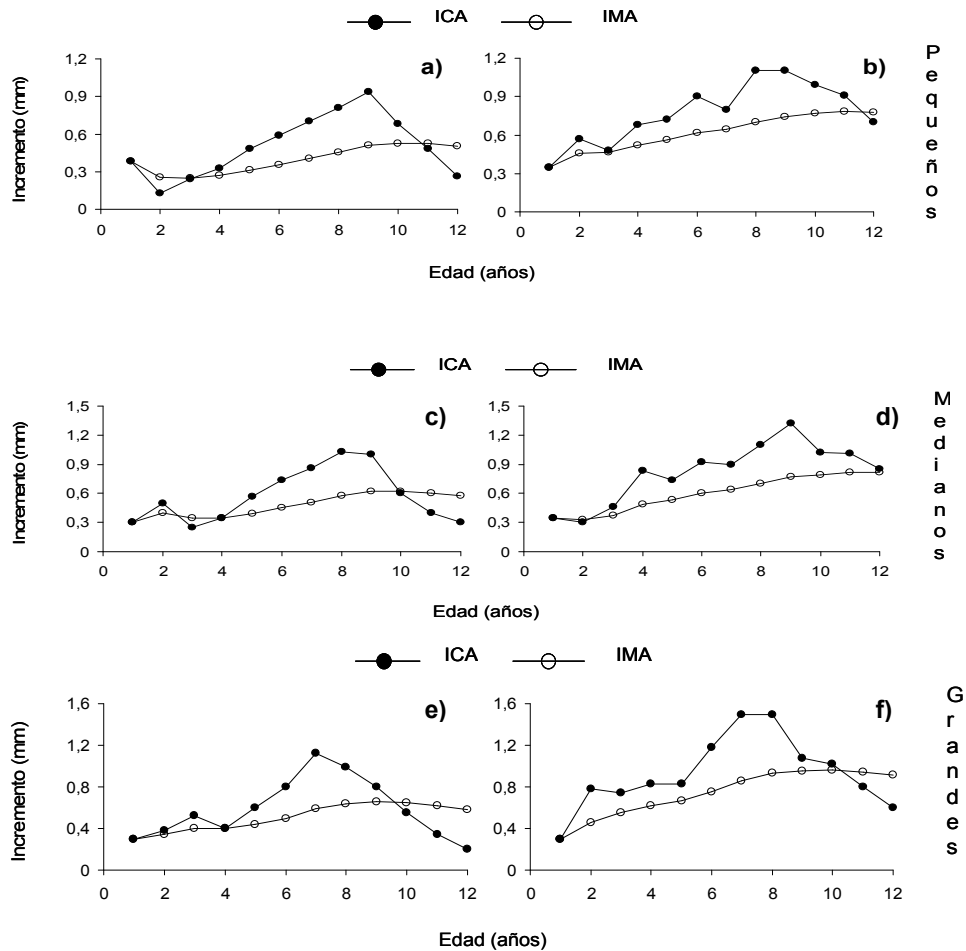


Figura 9. Incremento corriente anual (ICA) y anual medio (IMA) para la altura, según clase de tamaño: **a)** pequeños, **c)** medianos, **e)** grandes, rodal exposición norte; **b)** pequeños, **d)** medianos, **f)** grandes, rodal exposición sur.

El rodal de exposición norte en los tres grupos de individuos ha crecido a una menor tasa que el rodal exposición sur, aunque en los primeros años de la plantación, el rodal norte mantuvo un ritmo de crecimiento bastante acelerado (figura 9 a, b y c). En el rodal norte el máximo IMA se alcanzó al año 10, y en el rodal sur al año 12. Comparando el IMA por clasificación de tamaño se obtuvo diferencias significativas en la clase pequeño y grande ($p=0,001$ y $p=0,005$, respectivamente), mientras que en la clase mediano las diferencias fueron menos significativas ($p=0,070$). Para el caso del ICA, la situación fue similar, encontrándose diferencias significativas en los grupos pequeños y grandes ($p=0,011$ y $P=0,014$, respectivamente), mientras que el grupo medianos nuevamente presentó diferencias menos significativas ($p=0,057$).

El incremento periódico anual de los últimos tres años (IPA), presentó mayores valores en los tres grupos de individuos del rodal sur (cuadro 13), con diferencias significativas en cada uno de los grupos ($P=0,001$ para los tres grupos).

Cuadro 13. Valores máximos de IMA e ICA e IPA para la altura

	Norte				Sur			
	Pequeño	Mediano	Grande	Promedio	Pequeño	Mediano	Grande	promedio
IMA	0,53	0,62	0,66	0,60	0,78	0,82	0,96	0,85
ICA	0,94	1,03	1,12	1,03	1,10	1,32	1,50	1,31
IPA	0,48	0,43	0,36	0,42	0,87	0,96	0,81	0,88

Analizando la situación promedio de ambos rodales, el ICA en el rodal norte alcanza un valor de 1,03 m, cifra inferior ($p=0,016$) a la presentada por el rodal exposición sur con 1,31 m; lo mismo ocurre con el IMA, en la exposición sur es de 0,85 m, mientras que en el rodal norte es mas bajo ($P=0,001$), alcanzando los 0,60 m

Al representar gráficamente ambas curvas (figura 10), se aprecia el menor valor alcanzado tanto en IMA como en ICA en la exposición norte, así como también el bajo ritmo de crecimiento de este rodal en los primeros cuatro años; por su parte el rodal de exposición sur muestra un ritmo de crecimiento medio anual que tiene su máximo en el año 11.

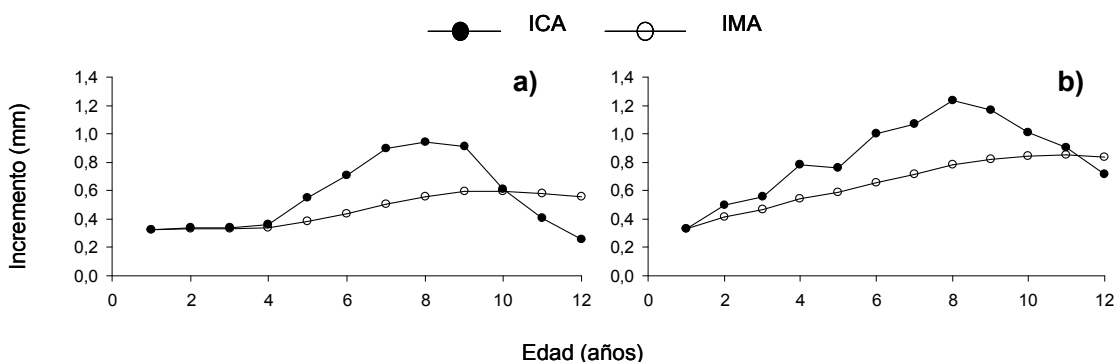


Figura 10. Incremento corriente anual (ICA) y anual medio (IMA) para la altura, según rodal **a)** rodal exposición norte, **b)** rodal exposición sur

4.2.3 Evaluación de calidad

La calidad de ambos rodales muestra notables diferencias. El rodal de exposición norte presentó un 34% en la calidad 1, igual valor en la calidad 2, y un 32% se concentró en la calidad 3. Por su parte el rodal exposición sur presentó más del 50% de sus individuos en calidad 1 y sólo un 15% en calidad 3, lo cual indica el mejor estado sanitario y de forma con que cuenta este rodal comparado con el de exposición norte. Las diferencias de calidad entre ambos rodales resultaron ser altamente significativas ($p=0,001$). El cuadro 14 presenta los porcentajes de individuos de calidad 3 según criterio de evaluación de calidad para ambos rodales. El rodal norte tuvo un alto porcentaje de individuos con calificación 3 en el criterio “daño” para el rodal norte (48%), debido principalmente a daños provocados por insolación. En cuanto a la rectitud del fuste, ambos rodales presentaron árboles rectos con muy baja participación de individuos con fuste curvado o torcido (2% en ambos rodales). El criterio “grosor de las ramas” generó resultados inesperados, ya que por la baja densidad del rodal norte se esperaba que las ramas de los árboles de este rodal fueran notablemente más gruesas que en el rodal sur, pero fue esta última plantación la que tuvo un mayor porcentaje de individuos con calidad 3 por el criterio grosor de ramas. En cuanto al criterio corte transversal del fuste, el efecto de los

daños por insolación provoca que los fustes se desarrollen de forma elíptica en la exposición norte, lo cual no ocurre con los árboles de exposición sur.

Cuadro 14. Participación de individuos según criterios de calidad.

Criterio	Participación (%)	
	Norte	Sur
Daño	48	24
Rectitud del fuste	2	2
Grosor de las ramas	44	74
Corte transversal del fuste	6	0

4.3. Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia

A partir del rodal mixto y el rodal puro de exposición sur se encontraron tres situaciones de competencia individual de raulí, las cuales fueron seleccionadas según valores de APA más homogéneos. Las situaciones comparadas presentaron un APA medio de $42\text{m}^2 \pm 6\text{m}^2$.

La comparación hecha mediante análisis de varianza entregó como resultado que no existen diferencias significativas entre las tres situaciones de competencia para ninguna de las variables analizadas (cuadro 15).

Cuadro 15. Variables sometidas a análisis de varianza en el rodal mixto

Situación	DAP (cm)	ICA (mm)*	IMA (mm)*	IPA (mm)*	Área basal (m^2)**	Volumen (m^3)**
Competencia de siempreverdes	10,8	10,8	6,5	10,4	0,0093	0,0299
Competencia mixta	8,4	8,4	6,1	6,5	0,0082	0,0263
Competencia de caducifolios	8,6	8,1	5,8	10,4	0,0078	0,0255
Significancia estadística (valor P)	0,414	0,308	0,782	0,452	0,451	0,466

*: Valores promedio para el DAP

** : valores promedio por árbol

Sin embargo, el análisis de estas situaciones presenta un gradiente muy marcado desde la situación de raulí con competencia predominante de siempreverdes hacia la situación de raulí con competencia predominante de caducifolios. Tendencia que se refleja en los valores máximos de IMA e ICA así como en el DAP medio (cuadro 16).

Cuadro 16. Valores máximos de ICA e IMA por situación.

Situación	Máximo ICA (mm)	año	Máximo IMA (mm)	año
Competencia de siempreverdes	19,0	9	9,8	11
Competencia mixta	16,6	6	8,5	9
Competencia de caducifolios	11,9	10	7,7	11

El cuadro anterior muestra que los valores de máximo ICA e IMA disminuyen claramente desde la situación siempreverde hasta la situación caducifolio, es decir desde la situación con competencia predominante de siempreverdes hasta la situación con competencia predominante de caducifolios.

Es interesante apreciar que en la situación mixta (competencia de dos siempreverdes y dos caducifolios) el máximo ICA ocurrió notablemente antes (año 6) que en las otras situaciones de competencia.

Las situaciones analizadas presentaron diferencias en el valor alcanzado por las curvas, sobre todo en el ICA, esta curva presentó un desarrollo casi plano en la situación de competencia de caducifolios. En cambio las situaciones intermedio y de competencia de siempreverdes presentaron una tendencia casi similar entre ambas, aunque el máximo IMA se produce tres años antes en la situación de competencia mixta (Figura 11).

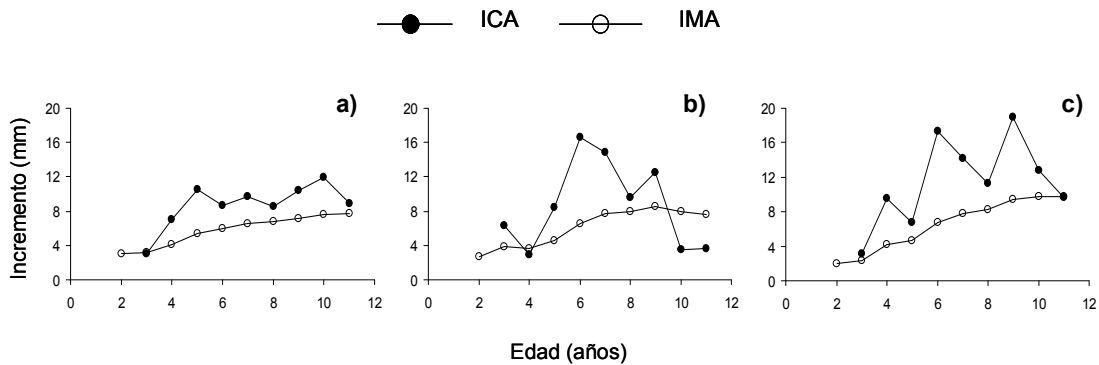


Figura 11. Incremento corriente anual e incremento medio anual por situación en el rodal mixto **a)** competencia de caducifolios, **b)** competencia de siempreverdes y caducifolios, **c)** competencia de siempreverdes.

El análisis de calidad, determinado a partir de 39 raulfés evaluados en la plantación mixta, arrojó que la situación que presentó la mayor concentración de individuos en la calidad 1 es la que presenta predominancia de individuos siempreverdes como competidores más cercanos (Cuadro 17). La situación de competencia mixta (dos caducifolios y dos siempreverdes) presentó la mayor concentración de individuos en la calidad 2, y la situación de competencia con predominancia de caducifolios presentó individuos repartidos de manera casi similar en las tres categorías de calidad.

Cuadro 17. Porcentaje de individuos según calidad y situación.

Calidad	Situación		
	Caducifolios	Mixta	Siempreverdes
1	36	27	42
2	32	60	29
3	32	13	29

A pesar de estas diferencias de calidad entre las tres situaciones de competencia, la prueba de Kruskal-Wallis arrojó como resultado que tales diferencias no fueron significativas ($p=0,497$).

5. DISCUSIÓN

5.1 Crecimiento y calidad de raulí según exposición

La exposición norte presenta un DAP medio levemente mayor que la exposición sur, lo cual es consecuencia de los mayores diámetros alcanzados por algunos individuos que se desarrollaron libre de competencia desde muy temprano, debido a la alta mortalidad en esta plantación. Sin embargo, el análisis estadístico indica que, en definitiva, no existen diferencias en el crecimiento diamétrico entre ambos rodales.

La variable que presentó mayores diferencias entre ambos rodales es la altura, tanto en el total alcanzado al año 12, como en los incrementos anuales. Estas diferencias pueden explicarse por condiciones de probable deficiencia hídrica que presentaría la exposición norte, ya que el bajo nivel de precipitaciones que existen en la depresión intermedia y sobre todo en el norte de la Provincia de Valdivia donde existe una influencia mediterránea, afectó en gran medida a la exposición más soleada y se reflejó en la altura, variable que es indicadora de diferencias de sitio (Prodan *et al.*, 1997). Estos resultados son consistentes con otros estudios como el de Wienstroer *et al.* (1993), quienes encontraron influencias significativas de la exposición sobre el crecimiento en altura de raulí.

Las condiciones de humedad presentes en la exposición sur han producido que los raulíes crezcan en altura a una tasa similar en los tres grupos de individuos (figura 9); en cambio en la exposición norte, el máximo ICA se produce antes en los individuos grandes y se va postergando un año hacia los individuos de menor tamaño, esta tendencia puede explicarse por la protección lateral que producen los individuos grandes sobre los más pequeños (Donoso *et al.*, 1991), los cuales aprovechan mejor la semisombra (sobre todo en la época vegetativa) y siguen creciendo a una mayor tasa que los grandes.

La calidad es otra variable que mostró grandes diferencias entre ambas exposiciones, sobre todo en el criterio daño, esto es producto de daños provocados por insolación, lo cual es propio de plantaciones de raulí en exposición norte (Donoso *et al.*, 1999; Rack, 1970). Este tipo de daño, representaría un posible factor de contribución a la alta mortalidad sufrida en el rodal norte.

Como consecuencia de la mayor densidad y altura total del rodal sur, éste presentó un volumen bruto mayor que el rodal norte, lo que sumado a la baja mortalidad presentada, indica una mayor productividad en esta exposición, lo cual cobra importancia al considerar que uno de los objetivos del establecimiento de este tipo de plantaciones es la producción de volumen de madera de alta calidad (Donoso *et al.*, 1999; Donoso *et al.*, 1993b; Loewe, 2005).

Los resultados de este estudio permiten generar ciertas consideraciones en el manejo de estos rodales, una de las cuales es la necesidad de realizar un primer raleo, ya que según lo señalado por Donoso *et al.* (1993b), esta intervención conviene hacerla cuando el rodal alcanza el punto de máximo ICA o máximo IMA. Este primer raleo debería considerar una extracción de hasta un 40% de área basal; sin embargo, esta intensidad de extracción parece ser la adecuada sólo para la exposición sur, ya que en la exposición norte debería extraerse un menor porcentaje

de área basal para no acentuar los daños por insolación ni aumentar el número de individuos muertos. Incluso, convendría solamente una corta sanitaria o una corta de mejoramiento, a través de la eliminación de individuos bifurcados.

5.2 Crecimiento y calidad de raulí según tipo de competencia

Las curvas de crecimiento en DAP en la plantación mixta indican que la situación donde ocurre un menor crecimiento es cuando raulí compite con predominancia de especies caducifolias y a medida que aumenta la presencia de competidores siempreverde también aumentan los valores máximos de ICA e IMA, indicando un favorecimiento de raulí cuando se encuentra rodeado de vecinos siempreverdes. Éstos parecen proporcionar cierta protección lateral a raulí sobre todo en los primeros años de la plantación.

La diferencia en los máximos ICA son notables, en la situación de competencia de siempreverdes el incremento corriente en DAP a sido 7 mm mayor que la situación de competencia de caducifolios; en cuanto al DAP medio, se observa que entre las situaciones de competencia mixta y de caducifolios las diferencias no son tan marcadas, aunque la situación de competencia de siempreverdes es mayor por casi 1 cm. Al analizar el crecimiento periódico anual para los últimos tres años, se observa que la situación de competencia mixta continua creciendo a una tasa mayor que las otras dos situaciones, así como también presenta los valores máximos de ICA e IMA antes. En resumen parece ser que la competencia de dos caducifolios y dos siempreverdes induce a que raulí crezca de manera acelerada alcanzando un máximo, pero luego la caída en crecimiento es suave.

Con respecto a la calidad, también existe un gradiente en el número de árboles en calidad 1, siendo la situación con competencia de siempreverdes la que presenta una mayor concentración de individuos en esta categoría de calidad; sin embargo, al comparar la proporción de individuos calidad 3, se observa que la situación de competencia mixta representa una mezcla más conveniente que una con competencia de siempreverdes, esto se explica por las características de las especies siempreverdes (que en todos los casos eran coigües), las cuales presentaban un mayor desarrollo en altura, provocando que raulí se desarrolle de manera menos vigorosa; en cambio con una competencia mixta, raulí tendría espacio para desarrollarse de mejor forma, al mismo tiempo, las especies caducifolias provocarían el desarrollo de un fuste recto, con una baja cantidad de ramas gruesas.

Las curvas de crecimiento en DAP indican que en este momento, en el que la tasa de crecimiento comienza a descender, debe realizarse a la brevedad un raleo, y de acuerdo a lo señalado por Uteau (2004), se debe procurar la liberación de las especies como avellano y ulmo, las que presentan una buena calidad por lo que poseen un buen potencial como especies productoras de madera aserrable.

Como análisis global de los tres rodales estudiados, se puede decir que a pesar de tratarse de plantaciones *ex situ*, los crecimientos observados en ellas son comparables con otras plantaciones establecidas dentro y fuera del área de distribución natural de la especie. Al comparar con las plantaciones evaluadas por Donoso *et al.* (1993b), se observa que las establecidas en las áreas de Panguipulli, Choshuenco, Puerto Fuy y Enco (*in situ*) superan en crecimiento en DAP sólo a los

individuos pequeños y medianos de las dos exposiciones (cuadro 12). Al comparar con plantaciones *ex situ* (cuadro 2), sólo resultó más bajo el crecimiento en DAP de los individuos pequeños de ambas exposiciones. En cuanto al crecimiento en altura, los individuos del rodal de exposición sur, muestran crecimientos comparables con las cuatro plantaciones del cuadro 1 (*in situ*); mientras que al comparar con las plantaciones del cuadro 2 (*ex situ*), el crecimiento en altura de la exposición norte resulta superior sólo al compararlo con la experiencia de Valdivia, la exposición sur muestra crecimientos comparables a los obtenidos en Chiloé, y más bajos que los obtenidos en Riñihue.

Al comparar el rodal mixto con plantaciones evaluadas por Barría (1996), se observa que el rodal en estudio supera, en todas las situaciones de competencia, al crecimiento registrado en plantaciones de roble-raulí y roble-raulí-ulmo por este autor. Quizás una de las causas de esta superioridad sea el tipo de planta empleada en el establecimiento de las plantaciones, en el caso de este estudio se trata de plantas 1/1 producidas en vivero. En cambio, se podrían alcanzar mayores crecimientos si se consideran actividades tales como desmalezamiento, subsolado y fertilización, las cuales ya se han comenzado a realizar en plantaciones puras y mixtas de raulí en las cercanías del Lago Panguipulli*.

Finalmente es interesante recalcar la superioridad que presentó el rodal mixto por sobre los rodales puros de ambas exposiciones, tanto en la sobrevivencia de las plantas, así como en el crecimiento y desarrollo alcanzado, sobre todo en volumen, lo que convierte a la plantación mixta como una viable alternativa en sectores del llano central de la Provincia de Valdivia.

* : Sergio López (comunicación personal)

6. CONCLUSIONES

- La alta mortalidad que presentó el rodal de exposición norte y su consecuente baja densidad, provocó que el crecimiento en DAP en este rodal fuera casi similar al de exposición sur.
- La diferencias en altura, calidad y mortalidad entre ambos rodales puros indican claramente que la exposición sur presenta una mejor calidad de sitio que la exposición norte.
- El análisis de calidad demostró que ésta variable se vio fuertemente influenciada por daños producidos por golpes de sol que recibieron los árboles en la exposición norte.
- Si bien en las distintas situaciones de competencia individual de raulí, no se encontraron diferencias significativas, el análisis muestra la conveniencia de que raulí posea como vecinos cercanos especies siempreverdes, siempre y cuando éstas posean diferencias fenológicas, de tolerancia y de características radiculares, como en este caso se dio entre raulí y coigüe.
- Analizando los tres rodales en conjunto, las tasas de crecimiento en DAP observadas en la plantación mixta superan a las de los rodales puros, indicando que plantaciones mixtas, pueden ser más productivas, si además se consideran mezclas con coigüe, especie que posee altas tasas de crecimiento en esta zona.
- A pesar de que los rodales se encuentran en un área fuera del rango de distribución natural de raulí, éstos registraron crecimientos comparables con rodales estudiados dentro del rango de distribución natural de la especie, lo cual indica que el establecimiento de plantaciones de raulí en la Precordillera de la Costa de la Provincia de Valdivia representa una opción productiva, sobre todo, en terrenos que ya no son usados con fines de producción agrícola.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Barría, L. 1996. Comparación de la estructura y crecimiento de una plantación de Roble-Raulí, con una de Roble-Raulí-Ulmo, en la provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Valdivia. 74 p
- Brown, G.S. 1965. Point density in stems per acre. New Zealand Forestry Research. Note N°38. 13p.
- Cao, Q.; Burckhart, H.; Timoty, M. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of Loblolly Pine to any merchantable limit. Forest Science 26(1):71-80
- Centro de Estudios Ambientales de Chile (CEA). 2006. Climatología de la cuenca del río Cruces. INTERNET: <http://www.ceachile.cl/Cruces/Clima.htm> Agosto 3, 2006)
- Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN). 1999. Descripciones de suelos materiales y símbolos. Estudio Agrológico de la Provincia de Valdivia - X Región. Publicación CIREN. 196 p.
- Donoso, C. 1978. La silvicultura de *Nothofagus* en Chile. Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile. Berkeley. USA Departamento de Silvicultura y Conservación. Universidad de California. 102 p.
- Donoso, C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento técnico N° 38. Investigación y desarrollo forestal (CONAF, PNUD-FAO). Chile, Edición FAO. 82 p.
- Donoso, C.; Escobar, B.; Cortes, M. 1991. Técnicas de vivero y plantación para raulí (*Nothofagus alpina*). Santiago, CONAF. 8 p. (Chile Forestal, Documento técnico, 53) 8 p.
- Donoso, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina; Variación, Estructura y Dinámica. 4º ed. Chile, Editorial Universitaria. Santiago Chile. 484 p.
- Donoso, P.; Donoso, C.; Sandoval, V. 1993a. Proposición de zonas de crecimiento de renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en su rango de distribución. Bosque 14(2): 37-55.
- Donoso, P.; Monfil, T.; Otero, L.; Barrales, L. 1993b. Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales manejados de especies nativas en la zona andina en las Provincias de Cautín y Valdivia. Ciencia e Investigación Forestal. Vol 7 (2): pp 253-286.
- Donoso, P.; González, M.; Escobar, B.; Basso, I.; Otero, L. 1999. Viverización y plantación de Raulí, Roble y Coigüe en Chile. Capítulo 7. In: Lara, A.; Donoso, C. Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile Primera Edición Santiago Chile, Editorial Universitaria. pp 177-244

- Echeverría, C.; Lara, A. 2004. Growth patterns of secondary *Nothofagus obliqua* - *Nothofagus alpina* forests in southern Chile. *Forest Ecology and Management* 195 (2004): 29-43
- Espinosa, M.; Rodríguez, G.; Medina, G. 1977. Tres años de crecimiento en una plantación de raulí (*Nothofagus alpina*) de 25 años de edad. *Boletín de investigación CCF. Universidad de Concepción*. 19 p
- Grosse, H. 1987. Desarrollo inicial de plantaciones de raulí. *Ciencia e Investigación Forestal* 1 (1) : 49-56
- Grosse, H.; Quiroz, I. 1999. Silvicultura de los Bosques de Segundo Crecimiento de Roble, Raulí y Coigüe en la Región Centro-Sur de Chile. Capítulo 4. *In* Lara, A.; Donoso, C. *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile* Primera Edición Chile, Editorial Universitaria. 95-128
- Hernández, E. 1996. Análisis del crecimiento de una plantación de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst) en la precordillera andina de la Provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Valdivia. 74 p.
- Kelty, M.; C. Larson; C. Oliver. 1992. *The Ecology and Silviculture of Mixed Species Forests*. Holanda. Kluwer Academic Publishers. 187 p.
- Loewe, V. 2005. Plantaciones mixtas: Una nueva alternativa productiva para el sector forestal. Proyecto plantaciones mixtas: diversidad, productividad y sustentabilidad para el desarrollo forestal. INFOR-FIA. 9 p.
- Meneses, M ; Paredes, G ; Núñez, P. 1991. Opciones Silviculturales para el Manejo y Utilización del Bosque Siempreverde. X Región desde Río Bueno al sur. Informe de Convenio N° 184. Universidad Austral – Cia. Chilena de Astilla. Valdivia. 103 p.
- Rack, K. 1970. Daños por insolación en árboles de *Nothofagus alpina*. Observación de una plantación en Chile. Turrialba. Vol. 20. N° 4.
- Reyes, R.; Gerding, V.; Donoso, C. 2004. Diferencias de crecimiento experimentadas en una plantación de raulí (*Nothofagus nervosa* (Poepp. et Endl.) Oerst.) durante 20 años, en el predio Las Palmas. Provincia de Valdivia. *In*: Simposio IUFRO Internacional Raulí, Riqueza de los Bosques Templados: Silvicultura, Genética e Industria. Valdivia (Chile), Abril 14-16 del 2004. Valdivia, UACH. pp. 1-14
- Rodríguez, R.; Matthei, O.; Quezada, M. 1983. *Flora Arbórea de Chile*. Editorial de la Universidad de Concepción. 408 p.
- Tuley, G. 1980. *Nothofagus* in Britain. Forestry Commission. *Forest Record* 122, Inglaterra. 26 p.

- Uteau, D. 2004. Desarrollo inicial de Laurel (*Laurelia sempervirens*) y Ulmo (*Eucryphia cordifolia*) en plantaciones mixtas con especies nativas. Tesis Ing. For. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Valdivia. 39 p
- Vita, A. 1977. Crecimiento de Algunas Especies Forestales en el Arboretum del Centro Experimental Forestal Frutillar. X Región. Boletín Técnico N° 47. Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile, Santiago. 16 p.
- Wienstroer, M.; Siebert, H.; Müller-Using, B. 2003 Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la precordillera andina de Valdivia. Bosque (Chile) 24(3):17-30

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and keywords

Abstract

The present study contributes with the investigation in pure and mixed plantations of native species. Its general objective was to compare the growth and quality of *Nothofagus nervosa* (raulí) planted in different aspects and different mixtures in terms of species composition, including evergreen and deciduous species. The specific objectives were to evaluate the effect of the aspect (North and South) in the growth and quality of raulí, in pure plantations, and to evaluate the effect of the neighbouring competition (evergreen and deciduous) on the growth and quality of raulí individuals. The plantations are in the central depression of the Province of Valdivia and correspond to two pure stands of raulí in North and South aspects and a mixed stand of roble-raulí-coigüe-avellano-ulmo-laurel in South aspect, with ages between 11 and 12 years.

Growth in the two pure plantations with different aspects were compared by means of the test of Student for DBH and height. Quality was compared by means of the Kruskal-Wallis test. The results show that the North stand grew, in diameter, to a similar rate to the South stand, but had 50% less density. There were no significant differences. In height the stand of South aspect grew to a greater rate than the North stand with highly significant differences, which is a result of the microclimatic differences between both aspects. Quality was another variable that had differences between both stands: south aspect presented a greater concentration of individuals in quality 1, whereas north aspect had many trees in 3 due to sunstroke injuries (insolation).

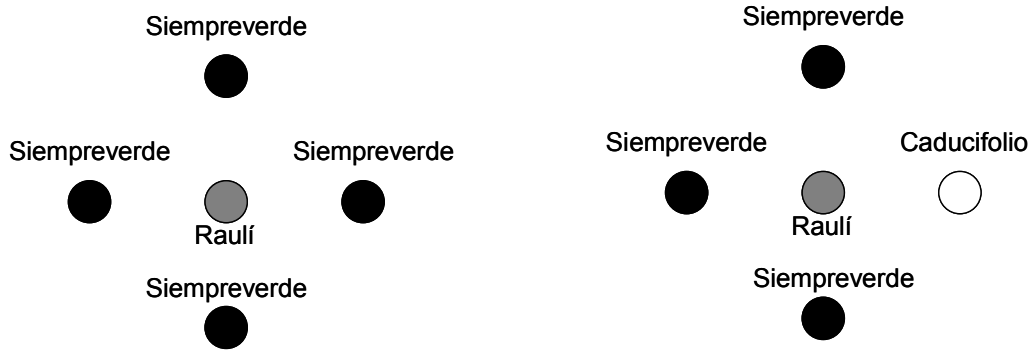
For the fulfillment of the second specific objective, a census in the mixed stand became and it was measured DBH, height, sociologic position and potentially usable area. The following situations were selected: raulí with predominant competition of evergreen species, raulí with mixed competition of evergreens and deciduous species, and raulí with predominant competition of deciduous species, in each situation they were selected representatives raulíes and it was extracted to them wooden plugs to obtain growth in DBH, the competition situations were compared by means of variance analysis. In the situations of competition of raulí in the mixed stand, they appeared little significant differences, but there was a noticeable gradient of growth and quality from the situation with competition of evergreens towards the situation with competition of deciduous; the latter had the smaller growth in diameter and worse quality.

the results indicate that the plantations of raulí it seems viable only in south aspect, in pure form or mixed, and to the twelve years of age they require of the application of first thinning.

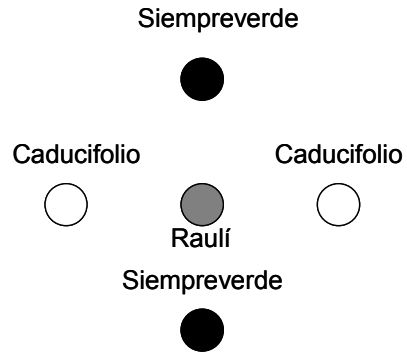
Keywords: Mixed plantation, *Nothofagus nervosa*, growth and quality

Anexo 2

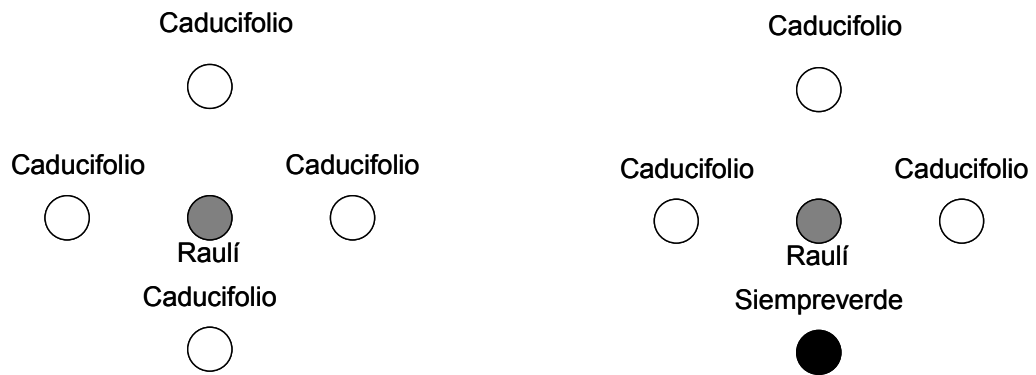
Disposición de las especies en la plantación mixta



Competencia predominante de siempreverdes



Competencia mixta de siempreverdes y caducifolios



Competencia predominante de caducifolios

Anexo 3

Detalle de criterios de evaluación de calidad

Daño

- 1= Fuste libre de síntomas o signos de daños bióticos o abióticos
- 2= Fuste con presencia de síntoma o signo de daño biótico o abiótico (cancro, heridas, parches miceliales, galerías de insectos, desprendimientos de corteza) y/o Bifurcación del fuste (2 o más flechas) sobre los 6 m de altura
- 3= Bifurcación del fuste (2 o más flechas) bajo los 6 m de altura

Rectitud del fuste

- 1= Fuste recto hasta el comienzo de copa
- 2= Fuste curvado tal que la sección desviada no sobrepase el contorno del fuste libre de desviación
- 3= Fuste curvado en más de un plano

Grosor de las ramas (ramas bajo los 5 m de altura)

- 1= diámetro de las ramas menor a 1/10 del diámetro del fuste en el punto de inserción de la misma
- 2= diámetro de las ramas mayor a 1/10 y menor a 1/4 del diámetro del fuste en el punto de inserción de la misma
- 3= diámetro de las ramas mayor a 1/4 del diámetro del fuste en el punto de inserción de la misma

Corte transversal del fuste (hasta los 5 m de altura)

- 1= Fuste totalmente cilíndrico
- 2= Diferencia de diámetros inferior al 20 % (respecto del mayor)
- 3= Diferencia de diámetros superior al 20 % (respecto del mayor)

Calidad según puntaje total.

Ejemplo de evaluación de calidad

Individuo	critério 1	critério 2	critério 3	critério 4	puntaje	CALIDAD
1	1	1	2	1	5	1
2	1	2	1	2	6	2
3	3	3	2	1	9	3
4	1	1	1	3	6	3

El cuadro anterior muestra el ejemplo de cuatro individuos evaluados, en los cuales se asignó la calidad según la sumatoria del puntaje. Se observa como el individuo 4 a pesar de tener tres criterios con calificación 1, automáticamente pasa a calidad 3 por el hecho de tener unos de los criterios con calificación 3.

Anexo 4

Tablas de rodal de los rodales en estudio.

Tabla de rodal exposición norte

Marca de clase	Calidad 1				Calidad 2				Calidad 3				TOTAL	%
	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.		
6,5	81	0	45	0	63	0	63	0	45	0	54	0	351	28
9,5	126	0	0	0	207	0	9	0	144	0	0	0	486	39
12,5	117	0	0	0	108	0	0	0	72	0	0	0	297	24
15,5	18	0	0	0	9	0	0	0	54	0	0	0	81	7
18,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	9	27	2
TOTAL	342	0	45	0	387	0	72	0	333	0	54	9		
%	28	0	4	0	31	0	6	0	27	0	4	1		

Tabla de rodal exposición sur

Marca de clase	Calidad 1				Calidad 2				Calidad 3				TOTAL	%
	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.	Dom.	Cod.	Int.	Sup.		
6,5	495	0	54	9	189	0	27	9	18	0	0	9	810	39
9,5	396	0	0	0	360	0	9	0	108	0	0	0	873	42
12,5	99	0	0	0	90	0	0	0	144	0	0	0	333	16
15,5	9	0	0	0	9	0	0	0	54	0	0	0	72	3
TOTAL	999	0	54	9	648	0	36	9	324	0	0	9	2088	
%	48	0	3	0	31	0	2	0	16	0	0	0		

Tabla de rodal para el rodal mixto

marca de clase	Roble			Raulí			Coigüe			Avellano			Ulmo			total
	N/Ha	G/Ha	Vol/Ha	N/Ha	G/Ha	Vol/Ha	N/Ha	G/Ha	Vol/Ha	N/Ha	G/Ha	Vol/Ha	N/Ha	G/Ha	Vol/Ha	
6,5	140	0,5	1,9	120	0,4	1,8	120	0,4	3,2	40	0,1	0,5	90	0,3	1,2	510
9,5	210	1,5	7,6	60	0,4	1,5	240	1,7	14,9	20	0,1	0,5	10	0,1	0,2	540
12,5	120	1,5	8,0	100	1,2	4,8	190	2,3	28,6	10	0,1	0,3	0	0	0	420
15,5	30	0,6	3,0	0	0	0	100	1,9	11,4	0	0	0	0	0	0	130
18,5	0	0	0	0	0	0	220	5,9	14,3	0	0	0	0	0	0	220
21,5	0	0	0	0	0	0	60	2,2	8,3	0	0	0	0	0	0	60
24,5	0	0	0	0	0	0	30	1,4		0	0	0	0	0	0	30
TOTAL	500	4,0	20,5	280	2,1	8,0	960	15,8	80,7	70	0,4	1,4	100	0,4	1,4	

Anexo 5

Crecimiento acumulado, anual medio y anual corriente según rodal.

Crecimiento acumulado, anual medio y corriente anual para rodal norte (promedio de 15 árboles).

Edad (años)	Crecimiento Acumulado (mm)	IMA	ICA	Edad (años)	Crecimiento Acumulado (m)	IMA	ICA
1				1	0,3	0,3	0,3
2				2	0,7	0,3	0,3
3	8,7	2,9	8,7	3	1	0,3	0,3
4	17,3	4,3	8,6	4	1,4	0,3	0,4
5	26,9	5,4	9,5	5	1,9	0,4	0,6
6	33,5	5,6	6,6	6	2,6	0,4	0,7
7	35	5	6,1	7	3,5	0,5	0,9
8	49,2	6,1	14,2	8	4,5	0,6	0,9
9	58,1	6,5	8,9	9	5,4	0,6	0,9
10	66,5	6,7	8,4	10	6	0,6	0,6
11	74,5	6,8	8	11	6,4	0,6	0,4
12	80,8	6,7	6,3	12	6,6	0,6	0,3
Dap				Altura			

Crecimiento acumulado, anual medio y corriente anual para rodal sur (promedio de 15 árboles).

Edad (años)	Crecimiento Acumulado (mm)	IMA	ICA	Edad (años)	Crecimiento Acumulado (m)	IMA	ICA
1				1	0,3	0,3	0,3
2				2	0,8	0,4	0,5
3	10,4	3,5	10,4	3	1,4	0,5	0,6
4	18,9	4,7	8,5	4	2,2	0,5	0,8
5	24,8	5	5,9	5	2,9	0,6	0,8
6	32,9	5,5	8,1	6	3,9	0,7	1
7	41,5	5,9	8,6	7	5	0,7	1,1
8	51,5	6,4	10	8	6,2	0,8	1,2
9	58,9	6,5	7,4	9	7,4	0,8	1,2
10	68,9	6,9	10	10	8,4	0,8	1
11	78,1	7,1	9,1	11	9,3	0,8	0,9
12	84,7	7,1	6,7	12	10	0,8	0,7
Dap				Altura			

Crecimiento acumulado, anual medio y anual corriente para el DAP, por situación de competencia para el rodal mixto

Edad (años)	Crecimiento Acumulado (mm)	ICA	IMA
1	3,8		
2	6,5	2,7	3,0
3	9,6	3,1	3,2
4	16,5	7,0	4,1
5	27,1	10,6	5,4
6	35,8	8,7	6,0
7	45,5	9,7	6,5
8	54,0	8,5	6,8
9	64,4	10,4	7,2
10	76,3	11,9	7,6
11	85,2	8,9	7,7

Competencia predominante de caducifolios

Edad (años)	Crecimiento Acumulado (mm)	ICA	IMA
1			
2	5,4		2,7
3	11,7	6,3	3,9
4	14,6	2,9	3,7
5	23,0	8,4	4,6
6	39,6	16,6	6,6
7	54,4	14,8	7,8
8	64,0	9,6	8,0
9	76,5	12,5	8,5
10	80,0	3,5	8,0
11	83,6	3,6	7,6

Competencia mixta de caducifolios y siempreverdes

Edad (años)	Crecimiento Acumulado (mm)	ICA	IMA
1			
2	3,9		2,0
3	7,1	3,2	2,4
4	16,6	9,5	4,2
5	23,3	6,7	4,7
6	40,6	17,3	6,8
7	54,8	14,2	7,8
8	66,1	11,3	8,3
9	85,1	19,0	9,5
10	97,9	12,8	9,8
11	107,6	9,7	9,8

Competencia predominante de siempreverdes

Anexo 6

Ranking de estadígrafos de decisión y funciones de volumen utilizadas.

Ranking de modelos para la predicción del volumen exposición norte.

Modelo	Ranking r^2	Ranking EEE	Ranking F	Ranking promedio
$b_0 + b_1 d^2 h$	2	1	3	2
$b_0 + b_1 d^2$	2	2	2	2
$b_0 + b_1 d^3$	3	2	4	3
$b_0 + b_1 \ln(d^2 h)$	1	3	1	1,67(*)

Estadísticos de decisión para el modelo seleccionado en exposición norte.

Coefficiente de determinación	Error estándar de la estimación	Valor F
0,96	0,203	174,06

Ranking de modelos para la predicción del volumen exposición sur.

Modelo	Ranking r^2	Ranking EEE	Ranking F	Ranking promedio
$b_0 + b_1 d^2 h$	1	1	1	1(*)
$b_0 + b_1 d^2$	4	2	2	2,67
$b_0 + b_1 d^3$	3	3	3	3
$b_0 + b_1 \ln(d^2 h)$	2	4	4	3,33

Estadísticos de decisión para el modelo seleccionado en exposición sur.

Coefficiente de determinación	Error estándar de la estimación	Valor F
0,99	0,0009	1.670

Modelos y coeficientes usados en la plantación mixta

especie	Función	Fuente
Ulmo	$\ln(\text{vol}) = -7,858033 + 0,607026 * \ln(d^2 h)$	Barría (1996)
Avellano	$\ln(\text{vol}) = -7,858033 + 0,607026 * \ln(d^2 h)$	Barría (1996)
Roble	$\ln(\text{vol}) = -9,915425 + 0,939798 * \ln(d^2 h)$	Barría (1996)
Raulí	$\text{Vol} = 0,00217087 + 0,0000223089 * d^2 h$	Barría (1996)
Coigue	$\text{Vol} = -0,006066 + 0,000032 * d^2 h$	Maureira (1995)

h: Altura total

d: Diámetro a la altura del pecho

(*): Modelo selecciona