

VOLUMEN 7 Nº2

CIENCIA
E
INVESTIGACION
FORESTAL

DICIEMBRE 1993

ESTUDIO DE CRECIMIENTO DE PLANTACIONES Y RENOVALES MANEJADOS DE ESPECIES NATIVAS EN EL AREA ANDINA DE LAS PROVINCIAS DE CAUTIN Y VALDIVIA

Pablo Donoso H. (*)

Tomás Monfil C. (**)

Luis Otero D. (*)

Luis Barrales M. (***)

RESUMEN

*En comunas al sureste de la Provincia de Cautín y al este de la Provincia de Valdivia, se estudiaron 11 renovales y 18 plantaciones de especies del género **Nothofagus**.*

Estos rodales se caracterizaron en términos de ubicación y posición fisiográfica y de sus principales parámetros. Además se realizó un estudio de crecimiento del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), sobre la base de tres tarugos de individuos dominantes por especie cuya participación en número de árboles por hectárea supera el 20%. Los tarugos además sirvieron para determinar la edad del rodal, considerando que las plantaciones y los renovales estudiados son coetáneos.

En los renovales se evaluaron los crecimientos diametrales cada 10 años y la respuesta de los individuos a los raleos. Después de haberse iniciado los raleos, hace aproximadamente 15 años, los individuos dominantes de los renovales intervenidos una vez están creciendo a 0,85 cm/año en DAP y los de renovales sometidos a 2 raleos a 0,98 cm/año. De mantenerse estas tasas de crecimiento y si los renovales siguen siendo raleados, las expectativas de rendimiento alcanzan a entre 15 y 22 m³/ha/año en los próximos años.

En las plantaciones, que en general tienen menos de 20 años, se registró un crecimiento en DAP en los primeros 10 años de 1,0 cm/año en promedio y de 1,5 cm/año durante los últimos 5 años. Al comparar plantaciones de similar densidad y edad, las de raulí y roble alcanzan 12 a 17 m³/ha/año, mientras que las de coihue alcanzan entre 21 y 26 m³/ha/año.

*Se concluye que las especies de **Nothofagus** estudiadas tienen un gran potencial forestal al producir madera de buena calidad y rápido crecimiento.*

(*) Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Casilla 385, Valdivia.

(**) Técnico y Consultor Forestal, Av. Francia 2412, Valdivia.

(***) Técnico Forestal, Instituto Forestal, Casilla 385, Valdivia.

ABSTRACT

*Eighteen planted **Nothofagus** stands and eleven second growth stands of species of this same genus, located in the southeast of the Province of Cautín and in the eastern part of the Province of Valdivia, were studied.*

These stands were characterized in terms of location, physiographical position and main stand parameters. The Diameter growth at breast height (DBH) was also studied by analyzing three cores obtained from the dominant trees of the species which had at least a 20% participation in the hectare. These cores were also used to determine stand ages, considering that all stands were evenaged.

In the second growth stands, the variation in DBH was measured each 10 years, evaluating also the response of the remaining forest after the thinnings. Fifteen years after the first thinning the growth of the dominant trees was 0.85 cm/year and in those stands with two thinnings the measured growth was 0.98 cm/year. If these growth rates could be maintained in the future through adequate management, the expected future yield could be between 15 to 22 m³/ha/year.

In the case of the plantations, that in general had less than 20 years of age, the growth in DBH obtained was 1.0 cm/year during the first 10 years and near 1.5 cm/year in the last 5 years. Comparing plantations of Rauli and Roble of similar density and age, the growth in volume was between 12 and 17 m³/ha/year.

*The study concludes that the **Nothofagus** species analysed have great potenciality, due to their fast growing characteristic and its high quality timber.*

INTRODUCCION

En Chile es conocido el hecho que las especies del género *Nothofagus*, especialmente aquellas que crecen en las zonas más templadas y lluviosas de la zona sur, como roble (*N. obliqua*), raulí (*N. alpina*) y coihue (*N. dombeyi*), son las de mejor crecimiento y potencial productivo entre las especies forestales nativas.

Por tal motivo, desde la década de los años 50 se vienen desarrollando las primeras experiencias, tanto en renovales como en plantaciones de estas especies. De estas experiencias, las de mayor magnitud son las reunidas en el ex Complejo Forestal y Maderero Panguipulli, COFOMAP, dependiente de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, entre los años 1975 y 1985.

El presente trabajo recopila y sistematiza estas experiencias de plantaciones y manejo de renovales, mediante una caracterización general de las más importantes. Para tal efecto se visitaron y muestrearon principalmente experiencias en los fundos del ex COFOMAP (comunas de Panguipulli y Futrono), donde se concentra lo medular de este trabajo. A ello se agrega un ensayo en la comuna de Río Bueno, dos en la comuna de Los Lagos y cuatro en la provincia de Cautín, en las comunas de Pucón y Curarrehue.

Los datos que aquí se describen, corresponden a información tomada en terreno en invierno y primavera de 1993.

MATERIAL Y METODO

Ubicación y Caracterización de Lugares de Estudio

Se estudiaron 11 renovales y 18 plantaciones de especies de **Nothofagus**, ubicadas la mayoría en comunas de la provincia de Valdivia, principalmente en Panguipulli, además de una experiencia en Río Bueno, una en Futrono y dos en Los Lagos.

En la provincia de Cautín se estudiaron cuatro experiencias, dos en la comuna de Pucón y dos en la comuna de Curarrehue. Las plantaciones se identifican con un número y los renovales con una letra (Figura N°1).

Cada ensayo visitado fue caracterizado según:

- Lugar
- Sector
- Exposición
- Altitud
- Pendiente

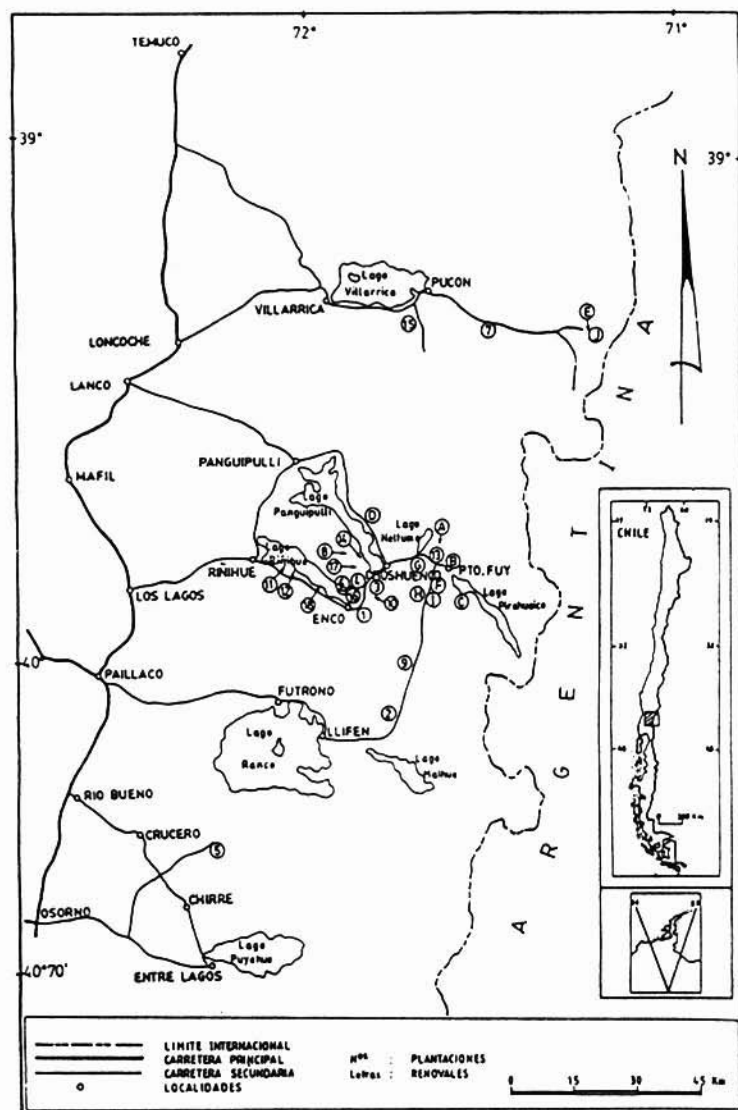


Figura N°1. UBICACION DE PLANTACIONES Y RENOVALES MUESTREADOS

Caracterización de Variables Dasométricas y de Crecimiento

Muestreo Puntual

El muestreo puntual permitió obtener información referencial respecto a densidades, composición, rangos diamétricos y área basal de los rodales. Este muestreo consistió en medir los individuos más cercanos en cada cuadrante respecto a un punto escogido (Donoso, 1993), el cual es seleccionado al azar o de acuerdo a un avance sistemático, a una distancia aproximada de 15 metros uno de otro (Figura N°2). Cada cuadrante se simuló de acuerdo a la división en cuatro partes, o cuadrados de un cuadrado mayor, orientándose siempre pendiente hacia abajo o de acuerdo a un rumbo preestablecido en terrenos planos. Una vez fijado el punto y ubicados los cuatro cuadrantes, se procedió a medir el DAP y la distancia respecto al punto de cada uno de los individuos más cercanos (cuatro árboles).

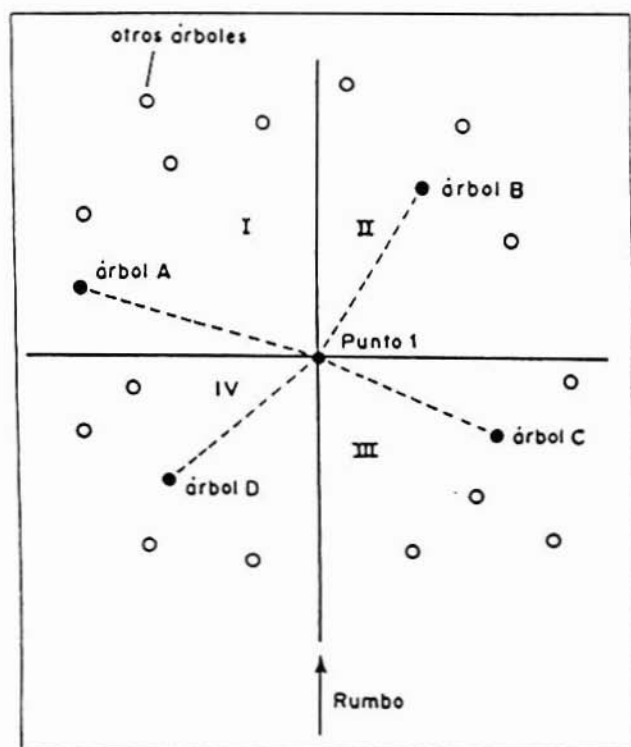


Figura N°2 ESQUEMA DE MEDICION EN MUESTREO PUNTUAL

De acuerdo a la heterogeneidad del rodal en cuanto a diámetros y composición, se midió un número variable de cuadrantes, entre 5 y 10. En plantaciones y renovales de una sola especie se midieron 5 puntos y a mayor complejidad se aumentó el número de puntos, hasta un máximo de 10 en las situaciones de mayor diversidad.

Los datos de diámetro y distancias individuales obtenidos permiten determinar rangos diamétricos y diámetros medios por especie y totales, composición, densidades, área basal y volúmenes.

Evaluación de Crecimientos

- Extracción y Preparación de Tarugos

En cada lugar estudiado se obtuvieron con taladro de incremento tres tarugos por especie representada en el rodal con un mínimo de 20% del total de árboles. El tarugo se obtuvo a la altura del DAP, en árboles seleccionados según dos criterios:

- a) Árboles con diámetros superiores a la media del rodal;
- b) Árboles sanos y de buena forma.

La preparación de los tarugos para su posterior análisis se llevó a cabo pegando y aprisionando cada tarugo en una moldura durante 24 horas. Luego los tarugos fueron sometidos a sucesivos lijados de más gruesos a más finos (Stoke y Smiley, 1968).

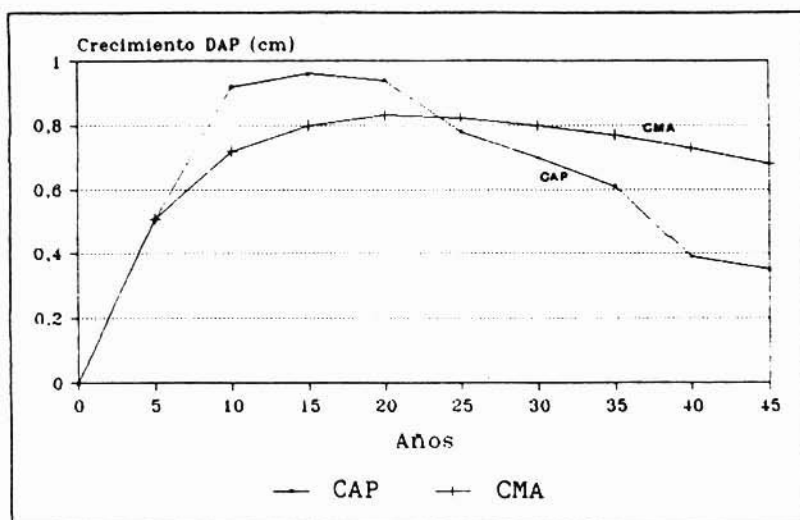
- Medición e información recogida de cada tarugo

A cada tarugo se le midieron los anillos de crecimiento desde la médula hacia la corteza, valores que representan el crecimiento radial del individuo. Se multiplicaron los valores obtenidos por 2 y se sumaron. Con esta suma más la del doble espesor de corteza, se obtiene el valor de diámetro a la altura del pecho (DAP). La diferencia que generalmente se produce entre este valor y el DAP real del árbol medido externamente con huincha diamétrica fue corregida dividiendo el error por el número de años o edad del individuo, y restando o sumando este error a cada año, según si la suma de los anillos era inferior o superior al DAP medido con huincha diamétrica.

Una vez obtenida y corregida la información de cada tarugo, se midieron las siguientes variables:

- Crecimiento Anual Periódico entre los 0-10 años, 11-20 años, 21-30 años, 31-40 años y el de los últimos 5 años (U5A).

- Crecimiento Anual Periódico de los 5 años previos y de los 5 años posteriores a la fecha del o de los raleos y de los 5 años del período de mayores crecimientos después del primer raleo.
- Edad óptima a la cual debió efectuarse el raleo, de acuerdo a dos criterios (Figura N°3): a) Cuando la curva de Crecimiento Anual Corriente o Periódico (CAP) alcanza su máximo, después de lo cual comienza a disminuir; b) Cuando se cruzan las curvas de Crecimiento Anual Corriente o Periódico y de Crecimiento Medio Anual (CMA), que corresponde a la edad en que la curva de Crecimiento Medio Anual alcanza su máximo. Este segundo punto siempre se produce con posterioridad al primero.
- Edad cronológica del individuo, considerada como la edad medida a la altura del DAP más 2 años en renovales y más 1 año en plantaciones.



CMA : Crecimiento medio anual
CAP : Crecimiento anual corriente

Figura N°3. REPRESENTACION DE MOMENTOS OPTIMOS DE RALEOS

- Estimación de la Productividad

Con la información recogida, tanto de antecedentes de manejo como de las mediciones en terreno y de los tarugos, se pueden obtener los crecimientos medios anuales en Diámetro, en Altura, en Area Basal y en Volumen.

Los volúmenes de plantaciones se estimaron sobre la base de factores de forma artificiales. Como valor medio de factor de forma artificial para las plantaciones de raulí y roble menores a 20 años se consideró 0,49, valor entregado por Cubillos (1988) y por Donoso et al. (en prensa) para individuos con DAP entre 6 y 20 cm y entre 10 y 17 m de altura, que son los rangos dentro de los cuales se encuentran estas plantaciones de menos de 20 años. Cabe señalar que Christie et. al (1974) establecen un valor de factor de forma artificial de 0,46 para plantaciones de raulí y roble con un DAP medio de 12 a 13 cm en Inglaterra y un valor de 0,50 a 0,53 para plantaciones con un DAP medio de 15 a 17 cm.

Para coihue fue usado 0,4386, valor superior del rango establecido por Grosse (1987) para renovales de esta especie en el Fundo Huilo-Huilo. Donoso et al. (en prensa) determinan para individuos dominantes en renovales de coihue de 30 y 40 años un valor de factor de forma artificial de 0,47 y 0,45, respectivamente.

Los volúmenes de los renovales se estimaron usando las siguientes funciones (Grosse, 1987):

$$\text{Raulí } V = 0,03655 + 0,00002 (\text{DAP})^3$$

(*Nothofagus alpina*) $n = 75; r = 0,94$

$$\text{Coihue } V = -0,05476487 + 0,00073611 (\text{DAP})^2$$

(*Nothofagus dombeyi*) $n = 50; r = 0,98$

$$\text{Roble } V = -0,03695309 + 0,00075407 (\text{DAP})^2$$

(*Nothofagus obliqua*) $n = 50; r = 0,98$

$$\text{Tepa } V = -0,04220197 + 0,00067576 (\text{DAP})^2$$

(*Laurelia philippiana*) $n = 50; r = 0,97$

Para obtener los volúmenes totales y por consiguiente poder estimar los crecimientos volumétricos anuales, se le sumó al valor de volumen en pie

actual, el obtenido en las distintas cosechas.

Situación Original de los Renovales Antes de Ser Intervenido en Panguipulli

Los renovales intervenidos del ex Complejo Forestal y Maderero Panguipulli, tenían las siguientes características (Monfil T., com pers):

- Alta densidad, con más de 4.000 individuos por hectárea, y con claras evidencias de etiolamiento.
- Edades entre 15 y 25 años.
- Altura media entre 3 y 10 metros y diámetros medios entre 5 y 12 centímetros.
- Rodales generalmente puros.
- Presencia frecuente de deformaciones de los fustes debido a la competencia por luz, daños por nieve y por ramoneo.
- Alta presencia de doble flecha y escasas ramas laterales debido al ramoneo.
- Pendientes fuertes en algunos sectores.

RESULTADOS

Renovales

Criterios de Aplicación de Raleos al Momento de Efectuar la Primera Intervención.

Los criterios de selección que se aplicaron al efectuar los raleos, tomando en consideración los antecedentes de los renovales fueron los siguientes:

- Árboles dominantes y codominantes.
- Individuos de mejor forma y estado sanitario.
- De preferencia árboles originados de semilla.
- Especies de mayor valor maderero.
- Igual tratamiento a especies tolerantes e intolerantes a la sombra.
- En rodales sin individuos dominantes o codominantes, de buena forma, se liberaron los individuos suprimidos de buena forma, a fin de obtener una superficie tratada homogénea.
- La densidad final que se consideró conveniente después del primer raleo fue de 1.600 a 1.200 árboles por hectárea.
- Los renovales fueron podados, a alturas variables entre 3 y 6 m.

En los rodales en que el primer raleo fue más intenso, hubo daños por nieve y desenraizamiento de algunos pies.

Descripción General de los Renovales

A continuación se describen en forma general las características de los renovales estudiados, cuya ubicación aparece en la Figura N°1. Se evaluaron 11 renovales manejados, 9 de ellos en los fundos del ex Complejo Forestal y Maderero Panguipulli (COFOMAP), en la comuna de Panguipulli, provincia de Valdivia; y 2 en el sector de Casas Viejas, en la comuna de Curarrehue, provincia de Cautín.

Los datos relativos a parámetros de rodal y las referencias respecto al crecimiento de los últimos 5 años corresponden al año 1993, antes de que comenzara el período vegetativo.

En el Cuadro N°1 se muestran las características generales de los renovales estudiados.

Cuadro N°1

CARACTERISTICAS DE LOS RENOVALES ESTUDIADOS

Rodal	Pto	Sup (ha)	Exp	Alt (msnm)	Pend (%)	Especies y participación en N° de árboles/ha (%)				Origen Renoval
						Raúl	Roble	Coihue	Tepa	
Remeco	A	350	O	700	10-40	<u>62,5</u>	<u>25,1</u>	0,0	12,4	INC.
Pidiñuil	B	140	O	700	10-40	<u>50,1</u>	<u>22,5</u>	10,0	17,4	R.B.D.B.
Depósito	C	140	N	600	40-70	<u>62,4</u>	<u>37,6</u>	0,0	0,0	DES.
Puñir	D	15	SE	600	10-40	4,3	<u>87,4</u>	0,0	8,3	INC.
Casas Viejas 1	E	0,1#	SO	600	20-40	<u>100,0</u>	0,0	0,0	0,0	INC.
Q. Honda	K	250*	NE	650	0-30	<u>90,1</u>	0,0	0,0	8,9	R.B.D.B.
El Trufe	F	250	NE	550	0-30	<u>59,4</u>	0,0	<u>37,5</u>	3,1	R.B.D.B.
Huilo H.	G	140	O	750	0-15	<u>19,5</u>	<u>28,3</u>	<u>14,4</u>	<u>37,8</u>	R.B.D.B.
Miraflores	H	250	N	700	10-20	<u>90,0</u>	0,0	0,0	10,0	R.B.D.B.
Cancha Larga	I	250*	P	600	0-10	<u>100,0</u>	0,0	0,0	0,0	R.B.D.B.
Casas Viejas 2	J	0,1#	SO	600	20-40	<u>100,0</u>	0,0	0,0	0,0	INC.

- # : Corresponden a parcelas de ensayo de raleos de la UACH.
90,0 : Subrayado indica que se obtuvieron tarugos de la especie.
 * : La superficie que se señala corresponde a un paño extenso que incluye los rodales de Cancha Larga y Quebrada Honda.
 INC. : Incendio
 R.B.D.B. : Regeneración bajo dosel bajo
 DES. : Deslizamiento

Análisis de Crecimiento de los Renovales

Los renovales evaluados han sido sometidos a distintos tipos de manejo, como cortas de liberación de individuos pertenecientes a la generación anterior al renoval, distintas podas y uno o dos raleos.

Estas intervenciones, según su intensidad, han llevado a los renovales a densidades variables, desde 250 hasta 1.400 árboles por hectárea. Por tal motivo, los renovales fueron agrupados según densidad en: Menos de 500, entre 500 y 1.000 y más de 1.000 árboles por hectárea (Cuadro N°2).

La edad a la que fueron intervenidos los renovales oscila entre los 15 y 30 años. Las intervenciones se realizaron entre 1975 y 1980, en la actualidad los renovales tienen edades entre 30 y 45 años. Los crecimientos medios en diámetro (DAP) y en altura para la edad total de los renovales, alcanzan un promedio de 0,61 cm y 0,63 m, respectivamente.

Los tarugos de muestra corresponden a árboles de un DAP medio de 19,6 cm, mientras que el DAP medio de los rodales fue de 23,92 cm. Es decir, los resultados de los tarugos reflejan el comportamiento de individuos de diámetros iguales o superiores al promedio de los rodales.

Cabe hacer notar que si bien la intensidad de muestreo a nivel de cada rodal analizado es suave, el análisis conjunto de numerosos rodales, entre los cuales hay algunos de gran similitud, intensifica el nivel muestral.

Cuadro N°2

RESUMEN DE PARAMETROS DE RODAL DE RENOVALES EVALUADOS

Grupo	Rodal (1)	Pto	Edad (años)	Densidad (n/ha)	DAP Medio (cm)	Area Basal (m ² /ha)	Altura Media (m)	Volumen Bruto (m ³ /ha)	Factor Forma Prom.	Crec. Med. Anuales	
										(cm)	(m)
1	Remeco	A	39	392	33,52	38,00	26,5	376,49	0,41	0,86	0,68
	<u>Pidiñuil</u>	B	42	471	30,30	36,75	26,4	330,04	0,37	0,72	0,63
	Depósito	C	43	370	31,62	32,38	27,6	308,71	0,38	0,74	0,64
	Puñir	D	39	253	28,02	43,16	25,3	170,62	0,43	0,72	0,65
	Casas Viejas 1	E	38	265	27,50	17,17	24,5	175,98	0,43	0,72	0,65
	Promedio		40	350	30,19	33,49	26,1	272,37	0,41	0,75	0,65
2	<u>Q. Honda</u>	K	33	868	20,94	33,96	20,0	231,11	0,39	0,63	0,61
	<u>El Trufe</u>	F	32	857	18,78	29,83	15,6	123,33	0,33	0,59	0,47
	<u>Huilo H.</u>	G	42	835	21,10	31,81	20,74	243,52	0,40	0,50	0,49
	Nothofagus		37	480	21,91	19,59	24,0	153,40	0,35	0,60	0,65
	Tepa		47	355	20,0	12,22	16,0	90,12	0,51	0,43	0,34
	Promedio		36	853	20,27	31,87	19,9	199,32	0,37	0,61	0,58
3	<u>Miraflores</u>	H	27	1.352	14,82	26,46	16,7	115,78	0,30	0,55	0,62
	<u>Cancha Larga</u>	I	33	1.218	16,15	27,42	21,1	176,91	0,40	0,49	0,64
	Casas Viejas 2	J	37	1.010	18,00	26,83	23,9	256,57	0,46	0,49	0,65
	Promedio		33	1.193	16,32	26,90	20,6	183,09	0,39	0,51	0,64
	Promedio Total		37	717	23,70	31,25	22,91	228,10	0,39	0,65	0,63

(1) — : Subrayado indica que se trata de renovales originados bajo dosel.
No subrayado son renovales originados a campo abierto.

Las tasas de crecimiento en diámetro muestran valores relativamente bajos los primeros 10 años, con un promedio de 0,55 cm/año (Cuadro N°3). Luego éstos ascienden en el período 11-20 años alcanzando 0,81 cm/año en promedio. En el período siguiente, entre los 21 y los 30 años, ya han sido raleados los renovales, de modo que no se puede evaluar la tasa de crecimiento sin manejo.

Estos valores son muy similares a los señalados por Donoso et al. (en prensa), que para los mejores sitios de renovales de raulí determinan 0,63 y 0,82 cm/año en crecimiento diametral en individuos dominantes para los periodos comprendidos entre los 1-10 años y 11-20 años, respectivamente, y para sitios intermedios en que determinan 0,42 y 0,70 cm/año, para los mismos

**ESTUDIO DE CRECIMIENTO DE PLANTACIONES Y RENOVALES
MANEJADOS DE ESPECIES NATIVAS EN EL AREA ANDINA DE LAS
PROVINCIAS DE CAUTIN Y VALDIVIA**

períodos de edad. Para roble estos autores determinan crecimiento de 0,48 y 0,85 cm/año en los mejores sitios considerando los períodos de edad señalados.

Cuadro N°3

RESUMEN DE CRECIMIENTO DIAMETRAL DE RENOVALES EVALUADOS

Grupo	Rodal	Pto	C.A.P. (cm)*					C.A.P. Pre y Post Raleos (cm)					Edad Optima Raleo	
			0 a 10 años	11 a 20 años	21 a 30 años	31 a 40 años	Ult. 5 años	1 er Raleo		2º Raleo	Período Max. Crecimiento Post Raleo			
								5 años Pre	5 años Post	5 años Post	Años	Valor	1	2
1	Remeco	A	0,81	1,03	0,99	0,73	1,11	1,01	1,01	1,01	9-13	1,28	13	18
	Pidiñuil	B	0,61	0,80	0,84	0,75	0,88	0,82	0,86	0,87	7-11	1,01	22	28
	Depósito	C	0,58	1,02	0,93	0,70	0,68	0,93	0,85	-	1-5	0,85	11	30
	Puñir	D	0,60	0,78	0,83	0,81	0,88	0,84	0,84	0,99	8-12	1,02	16	23
	Casas V10	E	0,48	1,00	0,92	0,91	1,17	0,82	1,11	-	3-7	1,20	10	25
	Promedio		0,62	0,92	0,90	0,78	0,94	0,88	0,93	0,99	6-10	1,06	14	25
2	Q. Honda	K	0,46	0,72	1,12		1,16	0,82	0,87	1,25	7-11	1,33	5	11
	El Trule	F	0,46	0,68	0,65	0,90	0,94	0,76	0,86	-	6-10	1,04	9	16
	Huilo H.													
	Nothofagus	G	0,61	0,79	0,88		0,97	0,88	0,85	1,03	8-12	1,07	9	14
	Tepa		0,51	0,42	0,33	0,42	0,50	0,47	0,50	0,47	11-15	0,57	5	11
	Promedio		0,51	0,73	0,88	0,90	1,02	0,82	0,86	1,14	7-11	1,15	8	14
3	Miraflores	H	0,42	0,60			0,89	0,51	0,59	1,08	6-10	1,19	9	13
	Cancha Larga	I	0,30	0,39	0,84		0,88	0,38	0,61	-	6-10	1,07	11	18
	Casas V20	J	0,73	1,07	0,74		0,59	0,86	0,75	-	3-7	0,70	15	20
	Promedio		0,48	0,69	0,79		0,79	0,58	0,65	1,08	5-9	0,99	12	17
	Promedio Total		0,55	0,81	0,87	0,80	0,92	0,78	0,83	1,05	6-10	1,07	12	20

* Crecimientos Anuales periódicos

Si se analizan por separado los crecimientos de los renovales establecidos a campo abierto, ya sea porque su origen es un incendio o un deslizamiento (A, C, D, E y J), de los establecidos bajo el dosel de árboles remanentes de la generación anterior (B, K, F, G, H e I), se pueden observar claras diferencias entre ellos (Cuadro N°4). En los primeros, el crecimiento promedio entre el año 0 y el año 20, momento hasta el cual éstos aún no se intervenían, es

notablemente superior, con 0,81 cm/año, comparado con 0,57 cm/año en los renovales crecidos bajo dosel.

Cuadro N°4

COMPARACION DE CRECIMIENTOS DIAMETRALES ENTRE RENOVALES DESARROLLADOS A CAMPO ABIERTO Y BAJO DOSEL

Origen renoval	C.A.P. (cm)*					C.A.P. Pre y Post Raleos (cm)					Edad Óptima Raleo	
						1 er Raleo		2º Raleo	Período Máx. Crecimiento Post Raleo			
	0 a 10 años	11 a 20 años	21 a 30 años	31 a 40 años	Ultimos 5 años	5 Años Pre	5 Años Post	5 Años Post	Años	Valor	1	2
Bajo Dosel	0,48	0,66	0,87	0,83	0,95	0,70	0,77	1,06	7-11	1,12	11	17
Campo Abierto	0,64	0,98	0,88	0,79	0,89	0,88	0,89	1,05	5-9	1,01	13	23

* Crecimientos Anuales periódicos

La edad a la cual debieron haberse efectuado los raleos correspondientes al momento en el cual el crecimiento anual corriente comienza a disminuir (1), se determinó en promedio a los 12 años, mientras que aquella en que comienza el descenso del crecimiento medio anual (2), se determinó a los 20 años aproximadamente. Los raleos evaluados se realizaron entre los 20 a 25 años de edad de los renovales, es decir con posterioridad a la edad óptima en que se debieron haber efectuado de acuerdo a estos criterios.

Tal como se ha observado en otros estudios (Donoso et al., en prensa), se puede señalar que el momento óptimo para efectuar el primer raleo en renovales de especies de *Nothofagus* como las estudiadas es entre los 10 y los 20 años. En relación a la edad óptima del raleo, cabe señalar también que en los renovales desarrollados a campo abierto se mantienen por más tiempo los crecimientos altos, ya que el crecimiento anual corriente alcanza su máximo dos años después que en los renovales desarrollados bajo dosel y el crecimiento medio anual 6 años después.

La respuesta al primer raleo de parte de los renovales se observa que es

leve en los 5 años posteriores. El crecimiento promedio en diámetro aumentó en sólo 6%. La respuesta inmediata al raleo, en términos porcentuales, es mejor en los renovales desarrollados bajo dosel, al aumentar el crecimiento en DAP en un 10%, comparado con renovales desarrollados a campo abierto en que la respuesta inmediata es de sólo un 2%.

En general, se observa que los mayores valores de crecimiento después de raleo se producen entre los años 5 a 9, en los renovales desarrollados a campo abierto, y entre los 7 y 11, en los renovales desarrollados bajo dosel, períodos que coinciden con los renovales sometidos a 1 raleo y los sometidos a más de 1 raleo, respectivamente. Esta situación refleja que por una parte hay una demora en la respuesta al raleo y por otra que el efecto del segundo raleo fue mayor que el del primero. En los renovales desarrollados bajo dosel el crecimiento anual periódico promedio del mejor período posterior a raleo llega a 1,12 cm y en los generados a campo abierto a 1,01 cm (Cuadro N°4).

El incremento promedio del crecimiento en la actualidad, respecto a la situación previa al raleo, corresponde a un 18%. Tanto en el grupo de los renovales más jóvenes y más densos (Grupo 3) como en los renovales originados bajo dosel, este incremento es de un 22 a 23%, y en los renovales desarrollados originalmente a campo abierto de un 0%. Sin embargo, la principal explicación para esta situación está dada por el efecto del segundo raleo sobre el crecimiento (Cuadro N°5).

Los renovales sometidos a un segundo raleo (A, B, D, K, G, y H) incrementan en un 30% el crecimiento en diámetro respecto a los 5 años previos al primer raleo, en cambio el incremento después del primer raleo es de sólo un 4% respecto al período previo al raleo. Por tal motivo, los individuos dominantes de los renovales sometidos a 2 o más raleos en la actualidad están creciendo a 0,98 cm/año en diámetro, mientras que los de los renovales sometidos a 1 raleo a 0,85 cm/año.

Cuadro N°5

**COMPARACION DE CRECIMIENTOS DIAMETRALES ENTRE RENOVALES
SOMETIDOS A 1 RALEO Y A 2 O MAS RALEOS**

Origen renewal	C.A.P. (cm)*					C.A.P. Pre y Post Raleos (cm)					Edad Optima Raleo	
						1 er Raleo		2º Raleo	Período Máx. Crecimiento Post Raleo			
	0 a 10 años	11 a 20 años	21 a 30 años	31 a 40 años	Ultimos 5 años	5 Años Pre	5 Años Post	5 Años Post	Años	Valor	1	2
1	0.45	0.83	0.82	0.84	0.85	0.75	0.84	-	4-8	0.97	12	18
2 o Más	0.52	0.79	0.93	0.76	0.98	0.81	0.84	1.05	8-12	1.15	11	22

* Crecimientos Anuales periódicos

El incremento relativamente leve en las tasas de crecimiento en diámetro después del primer raleo puede explicarse por los siguientes motivos:

- En cuanto al período de mayores crecimientos anuales en diámetro, Donoso et al. (en prensa) señalan que éste se produce entre los 15 y 20 años y en el presente estudio (Cuadro N°3) se determina que el máximo crecimiento anual corriente se produce entre los 12 y 15 años. Por lo tanto, los renovales fueron intervenidos en una etapa en que el crecimiento anual corriente en DAP era decreciente.

En los renovales originados a campo abierto, el raleo permitió a los individuos residuales en pie mantener las tasas de crecimiento de los últimos años y evitó que éstas continuaran descendiendo, como venía ocurriendo naturalmente. En los renovales desarrollados bajo dosel, cuyo crecimiento natural es inferior a aquellos desarrollados a campo abierto, el raleo permitió incrementar las tasas de crecimiento en diámetro, aunque en términos absolutos el crecimiento alcanzado en estos renovales es inferior al de los renovales crecidos a campo abierto.

Esta diferencia en la respuesta al raleo entre los renovales desarrollados bajo dosel y los generados a campo abierto se puede deber a que en los segundos, cuando se efectuó el raleo, había una

clara diferenciación entre los individuos, distinguiéndose bien los árboles que estaban dominando en el rodal. Estos árboles dominantes, con buena disponibilidad de luz, después del raleo lograron mantener sus tasas de crecimiento y no seguir disminuyéndolas, como era la tendencia cuando se efectuó el raleo.

En cambio, en el renoval desarrollado bajo dosel, ninguno de los individuos previos al raleo tenía óptimos niveles de disponibilidad de luz y la liberación producida por el raleo así como por la eliminación de los árboles de la generación anterior, les permitió a los individuos que quedaron en pie después del raleo, aumentar sus tasas de crecimiento.

- La intensidad del primer raleo en la mayoría de los casos parece haber sido muy suave en términos de permitir un mejoramiento significativo en las tasas de crecimiento.

El efecto de la intensidad del raleo sobre la capacidad de respuesta de los árboles en crecimiento diametral, queda en evidencia al observar el renoval de Casas Viejas (E), en el que se produjo una fuerte reducción de área basal y la mejor respuesta en crecimiento. Además ello se demuestra también al observar que el efecto del segundo raleo es notablemente superior al del primero.

- Como tercera consideración para explicar la falta de respuestas más fuertes a los raleos, se debe reiterar que los árboles analizados corresponden a individuos cuyos diámetros están sobre la media del rodal, por lo que su capacidad de respuesta en cuanto a tasa de incremento puede ser inferior a la de los árboles seleccionados para quedar en pie después del raleo con diámetros cercanos a la media.

En el estudio se analizaron árboles cuyo crecimiento diametral antes del raleo era cercano a los 0,8 cm, en circunstancias que en renovales no manejados los crecimientos medios en diámetro fluctúan entre 0,4 y 0,5 cm/año (varios autores, citados por Donoso, 1988). Si se hubieran analizado además individuos con diámetros cercanos a la media del rodal después del raleo, probablemente las tasas de incremento en diámetro habrían sido superiores.

Es importante señalar que en casi todos los renovales, después de raleados,

hubo períodos de crecimiento anual en diámetro superiores a 1 cm, con lo cual queda en evidencia que efectuando raleos oportunamente se pueden lograr tasas de crecimiento levemente superiores a esta cifra en árboles dominantes.

En la actualidad, sin embargo, el promedio de crecimiento anual en diámetro es de 0,9 cm para los tres grupos divididos según densidades. Con este dato y los parámetros de rodal actuales de los renovales, se puede efectuar una proyección de crecimientos hasta la cosecha final (Cuadro N°6). Para ello se utiliza la función de volumen de renovales de raulí antes citada (Grosse, 1987). Se asume que los niveles de extracción señalados para cada intervención son idénticos para el número de árboles, el área basal y el volumen, y el diámetro medio no cambia después del raleo.

**PROYECCION DE RENDIMIENTOS VOLUMETRICOS DE RENOVALES
HASTA LA COSECHA FINAL**

Grupo		Primer Raleo (Año 0)		Segundo Raleo (Año 10)		Tercer Raleo (Año 20)		Cosecha Final
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	
1	Edad	40	40	-	-	-	-	60
	Densidad	350	200	-	-	-	-	200
	DAP x	30,19	30,19	-	-	-	-	48,19
	Volúmen	272,37	155,25	-	-	-	-	454,95
	A. Basal	33,49	19,08	-	-	-	-	36,48
	C.M.A. + VOL. BR.	9,06 m ³ /ha/año		-		-		11,02 m ³ /ha/año
2	C.A.P. *	-		-		-		14,99
	VOL. BR.	-		-		-		m ³ /ha/año
	Edad	36	36	46	46	56	56	61
	Densidad	853	500	500	300	300	250	250
	DAP x	20,27	20,27	29,37	29,37	38,37	38,37	42,87
	Volúmen	199,32	117,60	271,39	160,12	349,91	291,59	403,08
3	A. Basal	31,87	18,48	33,87	19,95	28,92	24,10	36,08
	C.M.A. + VOL. BR.	6,93 m ³ /ha/año		8,77 m ³ /ha/año		8,98 m ³ /ha/año		10,07 m ³ /ha/año
	C.A.P. *	-		15,38		18,98		22,30
	VOL. BR.	-		m ³ /ha/año		m ³ /ha/año		m ³ /ha/año
	Edad	30	30	40	40	50	50	60
	Densidad	1.285	700	700	400	400	250	250
3	DAP x	16,32	16,32	25,32	25,32	34,32	34,32	43,32
	Volúmen	146,35	79,76	252,84	144,19	338,01	211,26	415,61
	A. Basal	26,94	14,54	35,24	20,09	37,00	23,13	36,85
	C.M.A. + VOL. BR.	5,37 m ³ /ha/año		8,36 m ³ /ha/año		10,56 m ³ /ha/año		12,20 m ³ /ha/año
	C.A.P. *	-		17,31		19,38		20,44
	VOL. BR.	-		m ³ /ha/año		m ³ /ha/año		m ³ /ha/año

Al observar el Cuadro N°6, es destacable el hecho que se pueden lograr crecimientos volumétricos cercanos a los 20 m³/ha/año, es decir, si los renovales siguen siendo sometidos a raleos, en 30 años más se habrán producido 600 m³/ha.

Plantaciones

Información General de las Plantaciones

Se evaluó un total de 18 plantaciones, 16 ubicadas en sectores precordilleranos de la provincia de Valdivia y dos en la comuna de Pucón, provincia de Cautín (Figura N°1 y Cuadro N°7). De éstas, doce son plantaciones puras de raulí, una mixta raulí-roble, una mixta raulí-roble-ulmo (*Eucryphia cordifolia*), una pura de roble y tres puras de coihue.

Cabe hacer notar que todas las plantaciones fueron hechas con plantas extraídas o repicadas del bosque directamente al sitio de plantación. Sólo en algunas ocasiones la planta repicada del bosque fue llevada a vivero y mantenida allí durante un año antes de la plantación.

Los datos relativos a parámetros de rodal y las referencias del crecimiento de los últimos 5 años corresponden a 1993, antes del período vegetativo Cuadro N°8).

Cuadro N°7

CARACTERISTICAS DE LAS PLANTACIONES ESTUDIADAS

Rodal	Pto	Sup (ha)	Exp	Alt (m)	Pend (%)	Especies y Participación en N° de árboles/ha (%)			
						Rauli	Roble	Coihue	Ulmo
Enco	1	40	NO	400	20	100			
Arquihue Ganadero	2	27	O	220	38	31,2	68,8		
Chan-Chan	3	22	NO	200	20	100			
Quechumalal 3	4	50	E	250	35	100			
Rucatayo	5	180	N	850	15	100			
Quechumalal 2	6	200	SE	300	25	100			
Palguín	7	2	E	250	5		100		
Quechumalal 4	8	25	NO	400	12	100			
Arquihue Forestal	9	4	O	450	20	100			
Molco	10	50	NO	270	40	100			
Riñihue Rauli	11	15	N	230	10	100			
Riñihue Mixto	12	10	N	230	10	35,0	43,0		22,0
Remeco	13	30	SO	650	5	100			
Quechumalal 5	14	52	NO	180	10	100			
El Volcán	15	3	SO	600	20	100			
Quechumalal 1	16	15	SE	250	25			100	
Quechumalal 6	17	30	NO	350	45			100	
Mae	18	5	N	140	45			100	

Análisis de Crecimientos

Las plantaciones en su mayoría son jóvenes, con edades entre 10 y 18 años, concentrándose la mayor parte entre 14 y 16 años. Dos de ellas son plantaciones de mayor edad, de 37 y de 38 años, siendo las plantaciones de rauli más viejas existentes en el país.

El análisis se hizo segregando las plantaciones según especie, para lo cual se analiza por separado coihue de rauli y roble, siendo estas dos últimas analizadas en conjunto. Para rauli y roble se analizan 15 plantaciones y se segrega además según densidad entre las con menos de 1.500 árboles por hectárea y las que tienen una densidad mayor.

Cabe hacer notar que la intensidad de muestreo a nivel de cada rodal analizado es baja, pero el análisis conjunto de numerosos rodales, entre los

cuales hay algunos de gran similitud, intensifica el nivel muestral.

Respecto a los parámetros de rodal (Cuadro N°8), se observa entre el grupo de plantaciones menos densas y el de las plantaciones más densas de raulí y roble, que para una misma edad con menor densidad se logran mayores diámetros medios, pero menor biomasa, reflejado esto en que el volumen de la situación menos densa es un 17% inferior al de la de mayor densidad, y en área basal, ésta es un 25% inferior. En el caso de la altura, variable poco influida dentro de ciertos rangos de densidad normal de los rodales, ésta es 1,5 metros inferior en las plantaciones más densas.

Los crecimientos medios anuales para los diferentes parámetros de rodal, también evidencian diferencias entre las plantaciones más densas y las menos densas (Cuadro N°8). Los crecimientos en altura y diámetro son mayores en las plantaciones menos densas, pero como producto de la subutilización del sitio los crecimientos medios en área basal y volumen son inferiores.

**ESTUDIO DE CRECIMIENTO DE PLANTACIONES Y RENOVABLES
MANEJADOS DE ESPECIES NATIVAS EN EL AREA ANDINA DE LAS
PROVINCIAS DE CAUTIN Y VALDIVIA**

Cuadro N°8

RESUMEN DE PARAMETROS DE RODAL DE PLANTACIONES EVALUADAS

Rodal	Pto	ESP	Edad (años)	Dens (n/ha)	DAP x Tot	Mues (cm)	Rango DAP (cm)	A. Basal (m ² /ha)	Alt x (m)	Vol. BR (m ³ /ha)
Enco	1	Ra	15	671	17,73	22,25	13-26	18,08	13,00	115,17
Arquihue	2	Total	15	738	19,50	19,26	9-26	22,87	14,20	159,13
		Ro	16	507	20,51	18,90	14-26	17,40	14,80	117,37
		Ra	13	231	16,68	19,50	9-22	5,46	14,00	41,75
Chan-Chan	3	Ra	18	1.111	18,43	21,67	16-25	30,39	13,28	197,75
Quechumalal 3	4	Ra	17	1.157	15,34	15,97	10-23	22,74	12,67	141,18
Rucatayo	5	Ra	10	1.193	9,21	9,93	5-14	8,45	8,40	34,78
Quechumalal 2	6	Ra	16	1.392	13,51	14,45	7-20	21,01	13,86	142,69
Palquín	7	Ro	14	1.440	13,22	17,25	4-25	24,56	14,53	174,86
Promedio			15	1.044	15,62	17,11	4-26	20,59	12,56	137,94
Quechumalal 4	8	Ra	14	1.780	13,29	17,83	9-24	26,27	13,10	168,63
R. Chico	9	Ra	15	1.868	10,10	12,80	3-21	17,49	9,67	82,87
Molco	10	Ra	14	2.000	12,10	17,10	6-18	24,62	10,50	126,67
Riñihue - R	11	Ra	13**	2.650	11,57	16,77	4-20	30,49	12,50	186,75
Riñihue - M	12	Total	13	3.150	10,44	13,31	3-17	29,03	11,00	156,47
		Ra	13	1.100	11,95	15,50	6-17	13,28	12,00	72,54
		Ro	13	1.350	9,52	12,50	3-15	10,33	10,50	49,44
		Ul	13	700	9,86	12,50	8-12	5,42	10,00	34,49
Remeco 5	13	Ra	15	3.333	12,80	16,67	7-22	46,03	11,00	248,10
Promedio			15	2.463	11,72	15,70	3-24	27,35	11,06	161,58
Quechumalal 5	14	Ra	17	531	27,92	26,40	16-49	34,66	25,00	450,58
El Volcán	15	Ra	38	876	25,80	27,40	17-47	47,72	18,65	462,79
Promedio			38	703	26,86	26,90	16-49	41,19	21,83	456,69
Quechumalal 1	16	Co	15	2.104	17,31	18,00	6-24	53,38	16,80	392,43
Quechumalal 6	17	Co	15	2.488	18,05	16,07	11-27	68,57	11,92	357,67
Mae	18	Co	16	1.100	17,73	21,40	9-27	29,18	14,33	182,98
Promedio			15	1.909	17,70	18,49	6-27	50,37	14,35	311,02

* : Corresponde al DAP medio de los árboles muestra tarugados.

** : Este es el único rodal evaluado una vez comenzado el período de crecimiento vegetativo (Primavera-Verano), de modo que para el cálculo de crecimientos se tomó la edad como 13,5 años.

Ra : Raulí

Ro : Roble

Ul : Ulmo

En cuanto al análisis de crecimiento en diámetro, este se realizó con tarugos de árboles de DAP promedio de 17,96 cm, mientras que el DAP promedio de las plantaciones evaluadas es de 15,78 cm. Es decir, el análisis de crecimiento diametral es representativo de los árboles de diámetros iguales o superiores a la media del rodal.

Se observa que los crecimientos diametrales son levemente superiores en las plantaciones menos densas, pero en los últimos 5 años los individuos de diámetros superiores de las plantaciones más densas están creciendo a una tasa mayor. Esto puede deberse a que la competencia por luz es mayor en plantaciones más densas y por lo tanto los niveles de diferenciación entre los individuos de la plantación son más drásticos, con lo cual los que alcanzan más rápidamente los doseles superiores crecen con mayor vigor.

En las plantaciones menos densas los niveles de diferenciación son menores y cada individuo dispone de un espacio adecuado para desarrollarse sin competir mayormente con sus vecinos (con el tamaño actual de las plantaciones), de modo que el crecimiento es más homogéneo al interior del rodal.

Exceptuando las plantaciones de mayor edad, en 14 de las 16 plantaciones menores a 20 años evaluadas los crecimientos diametrales de los últimos 5 años son superiores a los de los primeros 10 años, entre un 10 y un 50%.

Los crecimientos de los primeros 10 años son mejores en coihue, respecto de raulí y roble, y el crecimiento diametral de los últimos 5 años algo inferior. Lo anterior puede obedecer a su elevada área basal acumulada, lo que implica mayores niveles de competencia actual.

En cuanto a los crecimientos medios en altura, se observa claramente que en promedio en las plantaciones de raulí y roble menos densas, éstos son superiores a los de las plantaciones más densas. Los crecimientos medios en altura de coihue son superiores a aquellos de las plantaciones de raulí y roble.

Los crecimientos descritos en este estudio para raulí y roble son superiores a los descritos por Vita (1977, citado por Donoso, 1979) en Frutillar para las mismas especies. Comparando el crecimiento de las plantaciones de coihue de Frutillar citadas por este autor con las de este estudio, en diámetro los valores son superiores en Frutillar, pero inferiores en altura.

Los mejores crecimientos en diámetro y en altura observados en coihue,

sumados a la menor mortalidad natural de esta especie respecto de raulí y roble (Prado et al, 1993), se reflejan también en los crecimientos volumétricos. Al comparar plantaciones con niveles de densidad y edades similares, los crecimientos en volumen de coihue son aproximadamente un 40 a 60% superiores a los crecimientos de las plantaciones de raulí y roble (20 m³/ha/año versus 14 m³/ha/año, respectivamente). A nivel de renovals, se ha determinado que coihue tiene productividades más elevadas que raulí y roble (Donoso et al, en prensa).

Se observa en todas las plantaciones que la edad óptima a la que se deben efectuar los raleos corresponde a los 10 años, momento en el cual el crecimiento anual corriente comienza a disminuir (1), o a los 15 años aproximadamente, si se decide efectuar el raleo cuando el crecimiento medio anual comienza a disminuir (2) (Cuadro N°9).

Cuadro N°9

RESUMEN DE CRECIMIENTOS DE PLANTACIONES

Rodal	Pto	Esp	Crecimiento Medio Anual				CRE. PER. DAP (cm)			Edad óptima Raleo (años)	
			DAP	Alt	A. BAS	Vol BR	0-10	11-20	USA+		
			(cm)	(m)	(m³/ha)	(m³/ha)	años	años		1	2
Enco	1	Ra	1,18	0,87	1,21	7,68	1,60	-	1,24	6	10
Arquihue	2	Total	1,28	0,98	1,50	10,55	1,15	-	1,55	12	(13)
		Ro	1,28	0,93	1,08	7,34	0,86	-	1,60		
		Ra	1,28	1,07	0,42	3,21	1,41	-	1,50		
Chan-Chan	3	Ra	1,02	0,73	1,68	10,99	1,07	-	1,24	12	15
Quechumalal 3	4	Ra	0,90	0,75	1,34	8,30	0,65	-	1,21	11	-
Rucatyto	5	Ra	0,92	0,84	0,85	3,49	0,93	-	1,10	10	-
Quechumalal 2	6	Ra	0,84	0,92	1,31	8,92	0,63	-	1,06	9	-
Paiguín	7	Ro	0,94	0,91	1,75	12,49	1,06	-	1,15	12	-
Promedio			1,01	0,86	1,36	8,91	1,01	-	1,22	10	(13)
Quechumalal 4	8	Ra	0,89	0,87	1,88	12,05	1,03	-	1,34	7	16
R. Chico	9	Ra	0,67	0,64	1,17	5,52	0,96	-	1,36	11	(13)
Molco	10	Ra	0,88	0,75	1,75	9,05	1,01	-	1,78	10	-
Rifihue - R	11	Ra	0,86	0,93	2,25	13,83	1,17	-	1,58	10	-
Rifihue - M	12	Total	0,80	0,85	2,23	12,04	0,92	-	1,19	9	(13)
		Ra	0,92	0,89	0,98	5,47	1,10	-	1,25		
		Ro	0,73	0,78	0,77	3,90	0,78	-	1,17		
		UI	0,75	0,74	0,40	2,65	0,87	-	1,13		
Remeco 5	13	Ra	0,85	0,73	3,07	16,54	0,79	-	1,64	11	-
Promedio			0,83	0,80	2,06	11,51	0,98	-	1,48	10	(14)
Quechumalal 5	14	Ra	0,82	0,74	-	-	1,04	0,99	0,52	6	15
El Volcán	15	Ra	0,68	0,49	1,26	9,37	0,58	1,12	0,52	16	20
Promedio			0,75	0,62	1,26	9,37	0,81	1,06	0,52	11	18
Quechumalal 1	16	Co	1,15	1,12	3,56	26,16	1,19	-	0,93	8	12
Quechumalal 6	17	Co	1,20	0,93	4,57	23,84	1,00	-	1,15	11	-
Mae	18	Co	1,11	0,84	1,82	11,44	1,04	-	1,44	12	15
Promedio			1,15	0,96	3,31	20,48	1,08	-	1,17	10	14

+ Representa el crecimiento anual periódico de los últimos 5 años.

() Señala que la edad no representa un promedio de toda la muestra, sino que parte de ella.

Los únicos antecedentes conocidos de plantaciones de *Nothofagus* en Chile son los señalados por Espinoza et al (1977) y Vita (1977), citados por Donoso (1979). Los antecedentes más importantes de plantaciones de *Nothofagus*, son los de roble y raulí en Inglaterra, donde se han determinado distintas clases de rendimiento según la clase de sitio (Christie et al, 1974; Tuley, 1979). Estas clases de rendimiento, que son en total cinco (18, 16, 14, 12 y 10) representan la altura media de los árboles dominantes de la plantación a los 20 años de edad.

En el Cuadro N°10 se comparan algunos parámetros de rodal y crecimiento entre plantaciones evaluadas en este estudio y las tablas de rendimiento para plantaciones de raulí y roble de Inglaterra.

Cuadro N°10

COMPARACION DE PLANTACIONES DE CHILE Y DE INGLATERRA

Edad	País	Dens (n/ha)	DAP x (cm)	Altura # (m)	A: BAS (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)		
						Total	i. u. 7 cm	Anual
13	CH(13)	3.333	12,80	11,00	46,03	248,1	223,3	16,5
13,5	CH(11)	2.650	11,57	12,50	30,49	186,8	168,1	13,8
12*	IN	3.100	12,10	12,50	36,00	170,0	153,0	12,8
13+	IN	3.100	11,74	12,40	34,20	160,0	144,0	11,1
14°	IN	3.100	11,60	12,00	33,10	146,7	132,0	9,4
17	CH(3)	1.157	15,34	12,67	22,74	141,2	127,1	8,3
18	CH(4)	1.111	18,43	13,28	30,39	197,8	178,0	11,0
17*	IN	1.357	16,45	16,00	47,40	312,2	281,0	16,5
18+	IN	1.409	16,10	15,60	46,00	294,4	265,0	14,7
19°	IN	1.533	15,52	14,90	44,10	265,6	239,0	12,6

: Para plantaciones de Inglaterra corresponde a la altura dominante, para Chile altura media.

() : Representa el número de plantaciones del estudio.

* : Valores de plantaciones de clase de rendimiento 18.

+ : Valores de plantaciones de clase de rendimiento 16.

° : Valores de plantaciones de clase de rendimiento 14.

Se puede observar en el Cuadro N°10 que entre las plantaciones que se ubican alrededor de los 13 años, las de Chile se acercan más a la mejor clase de rendimiento de Inglaterra, esto es a la de 18 años, e incluso tienen valores superiores. En cuanto a las plantaciones con edades de alrededor de los 18 años, las de Chile se asemejan más a aquellas de Inglaterra en las clases de rendimiento 14 y 16, considerando que las de Chile tienen una densidad menor que las de Inglaterra.

Las diferencias entre la primera y la segunda situación pueden obedecer a que en las plantaciones de 13 años, las densidades son similares entre las plantaciones de ambos países, mientras que en la segunda las densidades de las plantaciones en Chile son inferiores. Si la densidad de las plantaciones de Chile se lleva a los niveles de las de Inglaterra, sin duda se produce un incremento en los valores de área basal y de volumen. Ordenando los valores según esta proporcionalidad, la comparación de plantaciones de 18 años parece ubicar las chilenas en la clase de rendimiento 14 ó 16.

De acuerdo a estas comparaciones, pareciera que la tasa de crecimiento en altura entre las plantaciones de Chile e Inglaterra es similar hasta los 13 años, pero luego ésta es superior en Inglaterra. Sin embargo, hay que considerar que las plantaciones de Chán-Chán (3) y Quechumalal (4) fueron ramoneadas los primeros años, lo cual tiene un efecto importante en disminuir los crecimientos, especialmente los de los primeros años (Grosse, 1987). En todo caso, se debe recordar que la altura registrada para las plantaciones de Chile representa la media, en cambio la de Inglaterra es la altura de los árboles dominantes.

CONCLUSIONES

- Las plantaciones de las especies estudiadas tienen mejores crecimientos promedios que los renovales, especialmente al comparar los crecimientos de los primeros años, donde las primeras duplican a los segundos en diámetro. Incluso después de raleados, las mejores respuestas en renovales no alcanzan los valores observados en las plantaciones.
- Considerando como un momento oportuno de raleo aquel en que el

crecimiento anual corriente comienza a disminuir, en plantaciones se sugiere efectuar el primer raleo entre 8 y 10 años de edad y en renovales entre los 12 y 15 años. Como alternativa, se podría efectuar el primer raleo en el momento en que el crecimiento medio anual comienza a disminuir, lo que se produce alrededor de los 15 años en plantaciones y de los 20 años en renovales.

- Las plantaciones de Chile son comparables en su desarrollo inicial a las plantaciones de raulí y roble de mejor desarrollo y rendimiento de Inglaterra, esto es, aquellas que a los 20 años alcanzan entre 16 y 18 metros de altura dominante y entre 15 y 17 m³/ha/año en volumen.

En los renovales evaluados, después de 15 años del primer raleo, existe una diferencia en el crecimiento entre árboles dominantes de renovales sometidos a 2 raleos y los sometidos a 1 raleo, con tasas de crecimientos de 0,98 y 0,85 cm/año, respectivamente.

Si se mantiene el manejo al que han sido sometidos estos renovales, las expectativas de rendimiento corresponden a un crecimiento volumétrico de 20 m³/ha/año en los próximos 20 a 30 años.

- Las plantaciones muestran un mejor desarrollo durante los últimos 5 años respecto al crecimiento medio anual de los primeros 10 años. En los primeros 10 años el crecimiento medio alcanza aproximadamente 1 cm, mientras que en los últimos años el promedio se acerca a 1,5 cm.
- El primer raleo en plantaciones con una densidad inicial de 2.500 árboles por hectárea, en ningún caso debería reducir la densidad a menos de 1.400 árboles por hectárea, ya que de otra forma se estaría subutilizando la capacidad del sitio.
- Los crecimientos de las plantaciones de coihue, que exceden los 20 m³/ha/año, son superiores a los observados en raulí y roble, que alcanzan entre 12 y 17 m³/ha/año, al comparar plantaciones de similar edad y densidad.
- Al comparar una plantación de raulí puro y otra mixta de raulí-robleulmo, se observa un mejor crecimiento volumétrico total de la de raulí puro. Sin embargo, la plantación mixta permite desarrollar una silvicultura en dos doseles, incrementando de esa forma las

posibilidades futuras de obtención de maderas y bienes distintos, en forma permanente, en un mismo rodal.

- El crecimiento inicial de los renovales desarrollados bajo dosel de árboles de la generación anterior, es más lento que el de renovales originados a campo abierto. El momento óptimo para efectuar el raleo en renovales crecidos bajo dosel es anterior al de los renovales desarrollados a campo abierto. La respuesta al primer raleo en los individuos medidos en los renovales originados bajo dosel es superior a de los renovales desarrollados a campo abierto.
- En renovales se observa una respuesta baja en el crecimiento diametral de individuos dominantes después del primer raleo, lo que obedece básicamente a que la intensidad de éste fue reducida, a que se realizó a una edad posterior a la disminución natural del crecimiento medio anual en diámetro y a que el análisis se concentra en individuos dominantes, donde la respuesta porcentual en crecimiento es menor a la que se podría esperar en individuos con un diámetro medio dentro del rodal.

Por razones de restricciones climáticas, se sugiere efectuar el segundo raleo a los 3 o 5 años después del primero, una vez estabilizado el rodal después del primer raleo.

- Es mejor la respuesta de los renovales a intervenciones fuertes en cuanto al incremento en las tasas de crecimiento en diámetro. Igualmente, el crecimiento medio anual de los 5 años posteriores al segundo raleo es un 33% superior al crecimiento medio en diámetro de los 5 años anteriores al primer raleo, en árboles dominantes.
- Mientras antes se intervenga, a partir de la edad determinada como óptima para efectuar el raleo, mayor es el número de raleos que se pueden efectuar hasta un determinado diámetro objetivo requerido y mayores las tasas de crecimiento volumétrico posibles de obtener.

AGRADECIMIENTOS

Las experiencias silvícolas existentes hoy en los fundos del ex Complejo Forestal y Maderero de Panguipulli (COFOMAP), de la precordillera andina de la provincia de Valdivia, corresponden al trabajo práctico de mayor envergadura realizado en el bosque nativo de esta Región.

Los autores desean reconocer el trabajo y el aporte al conocimiento del manejo del bosque nativo de esta Región que representan estas experiencias, impulsadas por la Corporación de Fomento de la Producción y ejecutadas con dedicación por Don Tomás Monfil, silvicultor responsable de todas las experiencias visitadas en los fundos del ex Complejo y activo participante en el desarrollo del presente informe.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Christie, J. M. y Brumm, L. E., 1974. *Nothofagus* Yield Tables. Forestry Commission Research and Development Paper 106, Inglaterra. 5 p.

Cogollor, G. y Vita, A., 1979. Regeneración en Bosque Nativo de Raulí. 2. Plantaciones y Ensayos de Regeneración. Proyecto CONAF/FAO/PNUD/FAO-CHII/76/003. 82 p.

Cubillos, V., 1988. Funciones de Volumen y Factor de Forma para Renovales de Raulí. En: Ciencia e Investigación Forestal; Vol. 2, N°3, pp. 103-120.

Cubillos, V., 1988. Funciones de Volumen y Factor de Forma para Renovales de Coihue. En: Ciencia e Investigación Forestal; Vol. N°4, pp. 62-68.

Donoso, C., 1979. Minimonografía sobre *Nothofagus* en Chile. Contribución solicitada por FAO. Documento mimeografiado. 5 p.

Donoso, C., Sandoval, V. y Gonzalez, C., 1988. Estudio de Raleo y Otras Técnicas para el Manejo de Renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*). Informe de Convenio N°147, Proyecto CONAF/UACH. 64 p.

Donoso, C., 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 484 p.

Donoso, P., 1988. Caracterización y Proposiciones Silviculturales para Renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en el Area de Protección "Radal-Siete Tazas", VII Región. En: Revista Bosque, Vol 9(2): 103-114.

Donoso, P., Donoso, C. y Sandoval, V., 1994. Proposición de Zonas de Crecimiento de Renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en su Rango de Distribución. En prensa, Revista Bosque. 39 p.

Espinoza, M., Rodríguez, G. y Medina, G., 1977. Tres Años de Crecimiento en una Plantación de Raulí (*Nothofagus alpina*) de 25 años de edad. Boletín de Investigación CCF 3, Universidad de Concepción. 19 p.

Grosse, H., 1987. Desarrollo de Renovales de Raulí Raleados. En: Ciencia e Investigación Forestal; Vol. 1(2): pp. 31-43.

Prado, C., Fuentes, J., Prado, C. y Donoso, P., 1993. Caracterización de la Estructura, Crecimiento y Respuesta a Raleos de Renovales de Roble, Raulí y Coihue Mediante Modelos Estadísticos Estructurales. Investigación y Desarrollo Forestal CONAF/PNUD/CH/89/003, contrato 22/92. 67 p.

Stoke, N. and Smiley, T. L. 1968. Introduction to Tree-ring Dating. University of Chicago. Press., Chicago.

Tuley, G., 1979. *Nothofagus* in Britain. Forestry Commission, Forest Record 122, Inglaterra. 26 p.

FUNCIONES DE ALTURA TOTAL Y AREA DE COPA PARA LENGUA
Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser) EN LAGO GENERAL
VINTTER - CERRO COLORADO, PROVINCIA DE CHUBUT -
ARGENTINA. ALCANCES POR CLASES DE EXPOSICION Y ALTITUD
C. Fernández y G. Martínez Pastur, CADIC - Programa de Recursos
Vegetales. cc 92 (9410) Ushuaia, Prov. de Tierra del Fuego Argentina;
F. Boyeras; P. Peri, Ingeniero Forestal, UNLP, Argentina.

RESUMEN

Para lengua se ajustaron funciones de Altura Total y Area de Copa. Los datos provienen del Lago General Vintter y utilizan sólo al DAP como variable predictora. Los ajustes se hicieron mediante técnicas de regresión lineal simple y múltiple y fueron analizados estadística y gráficamente, dando resultados satisfactorios. Un modelo fue seleccionado para cada combinación de exposición y altitud, entre los que presentaron mejor aptitud y estadísticos. Entre los que respondieron de manera más satisfactoria se encuentran:

$$HT = a \cdot DAP^{0.5}$$

$$AC = a \cdot DAP$$

$$HT = \text{Altura Total (m)}$$

$$AC = \text{Area de Copa (m}^2\text{)}$$

$$DAP = \text{Diámetro a la Altura del Pecho (cm)}$$

Posteriormente se diferenciaron estadísticamente los modelos seleccionados para las diferentes combinaciones de exposición y altitud. Se determinaron las pautas para la planificación en la toma de datos para la construcción de ecuaciones de Altura Total y Area de Copa.

Palabras clave: Lengua (*Nothofagus pumilio*), Funciones Altura, Funciones Area de copa

INTRODUCCION

El presente estudio integra una serie de trabajos realizados en la orilla sur del Lago General Vintter y al pie del Cerro Colorado, en la Provincia del Chubut, Argentina.

La lenga **Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser** es una especie de gran interes desde el punto de vista ecológico. El amplio rango latitudinal y altitudinal y la rigurosidad de las condiciones climáticas en que se desarrolla le confieren características de excepción en lo que respecta a su mecanismo biológico (Carabelli, 1991).

El área en estudio se encuentra entre los 43°57' y los 44°04' L. S. y los 71°33' hasta los 71°43' L. W., cubriendo una superficie de 5.800 ha de bosques, que corresponden al Tipo Forestal Lenga, Subtipo Forestal Bosque Puro de Lenga (Uriarte y Grosse, 1991).

La lenga crece desde las márgenes del Lago General Vintter (935 msnm) y la estepa hasta los valles y las laderas del Cerro Colorado. En los mejores sitios alcanza los 30 metros de altura total y 130 cm de DAP, estos corresponden a lugares húmedos de exposición Sur y baja altitud. Se observa un gradiente altitudinal en lo que respecta a las alturas dominantes. A los 1.300 msnm se presentan las lengas en "1" de menor altura y a los 1.400 msnm se presenta en forma achaparrada (Moore, 1983) debido a los factores ambientales adversos. Las laderas de exposición Norte presentan un ambiente más seco con un sotobosque totalmente diferente y un bosque más abierto y enfermo.

Para la determinación de las Alturas Totales y las Areas de Copa, mediante las ecuaciones correspondientes, se utiliza el diámetro (DAP), ya que es una variable correlacionada con los parámetros a calcular (Clutter et al, 1983). Las muestras que se incluyen en una misma regresión deben tomarse teniendo en cuenta las condiciones del sitio (Clutter et al, 1983). Para esto, en el muestreo se consideraron como posibles variables de la calidad de sitio la exposición y la altitud (Puente et al., 1985; Donoso, 1985). Se desconoce si se obtienen diferencias significativas, al realizar el muestreo para la construcción de

ecuaciones, sin tener en cuenta la exposición y la altitud.

Los únicos antecedentes que se encontraron en la bibliografía para la zona considerada, son estudios dasométricos e instalación de parcelas permanentes para el manejo del bosque de lenga (Orfila, 1987; Mutarelli y Orfila, 1971). No existiendo ecuaciones de Altura Total y Área de Copa.

OBJETIVOS

- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Altura Total para lenga, que permita estimar este parámetro en ejemplares que se encuentren en distintas exposiciones y altitudes.
- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Área de Copa para Lenga que permita estimar este parámetro en ejemplares que se encuentren en distintas exposiciones y altitudes.
- Determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los modelos de las distintas combinaciones de exposición y altitud, de manera de descubrir los alcances de las mismas y acotar su rango de utilización.
- Dar pautas para la planificación en la toma de datos para la elaboración de ecuaciones de Altura Total y Área de Copa para lenga en la zona bajo estudio.

MATERIALES Y METODOS

Estimación de la Altura Total y Área de Copa

La toma de datos se realizó obteniendo muestras homogéneamente distribuidas en la superficie bajo estudio. La selección se hizo tratando de cubrir la variación diamétrica para cada combinación de exposición y altitud.

A los árboles muestreados se les midió diámetro en cruz con forcípula a 130 cm de altura, altura total con clinómetro y diámetro de copa en dos sentidos, con cinta métrica.

Modelos Ajustados

Se ensayaron funciones donde el DAP es la variable predictora. Los ajustes se realizaron en base a técnicas de regresión lineal y múltiple.

Evaluación Estadística

Para evaluar y comparar el ajuste de los modelos ensayados y realizar su posterior selección, se consideraron los siguientes estimadores estadísticos: prueba de F, coeficiente de determinación " r^2 ", error estándar de la estimación "ese", coeficiente de variación de los residuos "syx%", prueba de t, análisis de los residuales "anare", ponderación "weight", Índice de Durbin-Watson, Índice de Spearman y el Índice de Furnival. De suma importancia se consideró también la simplicidad de los modelos (Little y Hills, 1985; Bonnier y Tedín, 1982; Chauchard, 1991; Yamane, 1979; Cantatore de Frank, 1983; Friel et al, 1991; ALder, 1980; Neter y Wasserman, 1973; Sokal y Rohlf, 1984; Clutter et al, 1983; Cailleux, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

Muestra

El total es de 332 individuos muestreados y los DAP mínimo y máximo obtenidos son, respectivamente, 10 cm y 130 cm (Cuadro 1).

Cuadro N° 1

DISTRIBUCION DE LOS ARBOLES MUESTRA POR CLASE DIAMETRICA,
ALTITUD Y EXPOSICION

Exp	Alt (msnm)	DAP (cm)							Total
		<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Este	1.000	2	5	8	9	3	2	4	33
	1.100	2	2	5	6	9	2	2	28
	1.200	4	2	9	8	2	5	2	32
	1.300	2	4	8	2	0	0	0	16
Sur	1.000	2	4	6	5	5	3	7	32
	1.100	8	4	5	5	7	1	3	33
	1.200	0	3	10	4	8	1	0	26
	1.300	0	6	7	3	1	0	0	17
Norte	1.000	5	3	5	6	8	2	2	31
	1.100	3	10	9	8	3	2	1	36
	1.200	4	12	11	2	1	1	0	31
	1.300	0	7	8	2	0	0	0	17
Total		32	62	91	60	47	19	21	332

Modelos

Se ajustaron 14 modelos de ecuaciones para Altura Total y 13 modelos para estimación de Área de Copa. Entre los ensayados se encuentran los clásicos citados por la bibliografía y otros no tradicionales (Alder, 1980; Cailliez, 1980; Clutter et al, 1983; Little y Hills, 1985; Neter y Wasserman, 1973; Sokal y Rohlf, 1984; Gaillard de Benítez et al, 1988) (Cuadro 2)

Cuadro N° 2

MODELOS DE ECUACIONES PARA ALTURA TOTAL Y AREA DE COPA

N°	Altura Total	Area de Copa
1	$HT=a+b \cdot D$	$AC=a+b \cdot D$
2	$HT=a+b \cdot D^2$	$AC=a+b \cdot D+c \cdot D^2$
3	$HT=a+b \cdot D+c \cdot D^2$	$AC=a \cdot D$
4	$HT=a+b \cdot D^2+c \cdot D^3$	$AC=a \cdot D+b \cdot D^2$
5	$HT=a+b \cdot D+c \cdot D^2+d \cdot D^3$	$AC=a \cdot D+b \cdot D^{0.5}$
6	$HT=a \cdot D+b \cdot D^2$	$AC=a+b \cdot d^2+c \cdot D^3$
7	$HT=a \cdot D+b \cdot D^2+c \cdot D^3$	$AC=a+b \cdot D^2$
8	$HT=a \cdot D^{0.5}$	$AC=a+b \cdot D+c \cdot D^2+d \cdot d^3$
9	$HT=a \cdot D+b \cdot D^{0.5}$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)+b \cdot D$
10	$HT=a \cdot D^{0.5}+b \cdot 1/D$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)+b \cdot D^2$
11	$\ln HT=a \cdot \ln(D)$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)$
12	$\ln HT=a+b \cdot \ln(D)$	$\ln AC=a \cdot \ln(D+D^2)$
13	$\ln HT=a \cdot \ln(D)+b \cdot \ln(D+D^2)$	$\ln AC=a+b \cdot \ln(D)$
14	$\ln HT=a \cdot \ln(D+D^2)$	$\ln AC=a+b \cdot \ln(D)$

HT = Altura Total (m), AC = Area de Copa (m^2); D = DAP (cm)

Una gran parte de los modelos, presentaron resultados satisfactorios. Aquellos que presentaron los mejores estadísticos y buena aptitud a través del ANARE, para cada combinación de exposición y altitud, son detallados en los Cuadros N°s 3 a 8.

Cuadro N° 3

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION ESTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	a	t b	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	8	0,965	3,84	734,0	**			19,43	2,03 *	3,84	-
		0,955	0,11	683,6	**			0,55	2,00 *	0,09	1/D ²
	13	0,995	1,62	3.218,0	**	**		7,11	1,90 *	1,77	-
		0,994	1,02	2.697,0	**	**		0,34	1,84 *	0,88	1/D ²
1.100	8	0,963	3,64	711,2	**			19,97	1,49 *	3,64	-
		0,967	0,08	791,9	**			0,44	1,75 *	0,06	1/D ²
	13	0,995	1,58	2.904,0	**	**		6,96	1,63 *	1,74	-
		0,995	1,02	3.050,0	**	**		0,35	1,93 *	0,86	1/D ²
1.200	6	0,963	3,18	414,4	**	**		19,96	1,52 *	3,18	-
		0,962	0,09	398,0	**	**		0,55	1,99 *	0,07	1/D ²
	8	0,963	3,18	822,9	**			19,98	1,62 *	3,18	-
		0,952	0,09	615,7	**			0,62	1,62 *	0,07	1/D ²
1.300	8	0,956	2,44	330,4	**			21,99	1,63 *	2,44	-
		0,956	0,44	323,8	**			4,00	1,70 *	0,29	1/D ²
	11	0,990	1,74	2.620,0	**			10,09	1,36 i	2,02	-
		0,992	1,02	2.026,1	**			0,42	1,63 *	0,77	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre D_u y D_L , vi valor inferior al d^L

Cuadro N° 4

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION SUR

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
					a	b	# c				
1.000	6	0,960	4,51	373,1	**	**		20,95	1,87 *	4,51	-
		0,938	0,13	235,5	**	**		0,58	1,66 *	0,10	1/D ²
	8	0,956	4,74	671,8	**			22,03	1,69 *	4,74	-
1.100	8	0,936	0,13	455,3	**			0,58	1,39 i	0,11	1/D ²
		0,967	3,01	948,5	**			19,28	2,69 *	3,01	-
	13	0,967	0,09	941,5	**			0,58	2,25 *	0,07	1/D ²
1.200	13	0,994	1,62	2.711,2	**	**		7,81	2,40 *	1,77	-
		0,992	1,02	1.871,8	**	**		0,37	1,95 *	0,88	1/D ²
	10	0,982	2,21	713,4	**	*		13,53	1,89 *	2,21	-
1.300	13	0,985	0,05	814,2	**	**		0,31	1,95 *	0,04	1/D ²
		0,998	1,38	5.150,1	**	**		5,03	1,95 *	1,54	-
	8	0,998	1,02	5.928,6	**	**		0,36	1,97 *	0,85	1/D ²
1.300	8	0,972	1,62	550,7	**			17,50	2,06 *	1,62	-
		0,972	0,05	545,5	**			0,56	1,82 *	0,03	1/D ²
	11	0,993	1,55	2.208,2	**			8,58	1,66 *	1,77	-
		0,992	1,02	2.010,1	**			0,45	1,43 *	0,77	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u, i valor intermedio entre du y D_L, vi valor inferior al d_L

Cuadro N° 5

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION NORTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	a	t b	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Fum	Pond
1.000	6	0,940	4,38	235,4	**	**		26,51	1,52 *	4,38	-
		0,952	0,10	299,9	**	**		0,62	1,65 *	0,08	1/D ²
		0,990	1,86	3.265,2	**			9,89	1,43 i	2,04	-
	14	0,992	1,17	3.959,0	**			2,56	1,87 *	1,01	1/D ²
1.100	8	0,946	2,89	617,8	**			24,66	1,33 vi	2,89	-
		0,933	0,10	487,4	**			0,84	1,23 vi	0,08	1/D ²
		0,988	1,86	1.478,0	*	*		11,22	1,28 vi	1,99	-
	13	0,988	1,02	1.545,0	**	**		0,42	1,36 i	0,89	1/D ²
1.200	10	0,982	1,33	840,9	**	**		13,61	2,09 *	1,33	-
		0,984	0,05	914,4	**	**		0,49	2,03 *	0,04	1/D ²
		0,996	1,38	3.827,5	**	**		6,18	2,06 *	1,49	-
	13	0,996	1,02	4.193,6	**	**		0,44	1,99 *	0,88	1/D ²
1.300	8	0,974	1,85	592,6	**			16,99	1,76 *	1,85	-
		0,969	0,07	492,9	**			0,60	1,85 *	0,05	1/D ²
		0,994	1,51	2.859,0	**			7,59	1,61 *	1,74	-
	11	0,993	1,02	2.361,3	**			0,42	1,67 *	0,78	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u, i valor intermedio entre du y D^L, vi valor inferior al d^L

Cuadro N° 6

**VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ÁREA DE COPA PARA LA EXPOSICION ESTE**

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
					a	b	# c				
1.000	4	0,935	17,9	232,3	**	**		33,12	1,81 *	17,9	-
		0,880	0,4	121,8	**	**		0,74	1,71 *	0,3	1/D ²
	11	0,984	3,2	1.986,6	**			13,45	1,41 i	3,6	-
1.100	3	0,980	1,3	1.681,0	**			2,69	1,61 *	1,2	1/D ²
		0,915	13,8	291,1	**			32,84	1,78 *	13,8	-
	11	0,901	0,3	250,5	**			0,73	2,08 *	0,2	1/D ²
1.200	11	0,994	2,0	4.905,6	*			8,24	2,09 *	2,3	-
		0,992	1,3	3.789,0	**			2,75	2,23 *	1,1	1/D ²
	11	0,984	2,5	1.985,6	**			11,71	2,18 *	2,8	-
1.300	12	0,976	1,3	1.280,1	**			2,93	2,56 i	1,2	1/D ²
		0,985	2,5	1.983,6	**			11,71	2,17 *	2,8	-
	3	0,977	1,3	1.300,9	**			2,93	2,59 i	1,2	1/D ²
1.300	3	0,811	11,9	64,3	**			52,25	1,80 *	11,9	-
		0,828	0,3	72,4	**			1,47	1,69 *	0,2	1/D ²
	11	0,962	4,0	389,8	**			20,43	2,06 *	4,9	-
		0,970	1,3	499,0	**			3,40	1,92 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%, * valor superior al D_u, i valor intermedio entre du y D_L, vi valor inferior al d_L

Cuadro N° 7

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION SUR

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t	#	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	11	0,991	2,5	3.281,8	**		9,92	2,22 *	2,9	-
		0,991	1,3	3.467,6	**		2,48	2,14 *	1,2	1/D ²
	12	0,991	2,5	3.294,5	**		9,92	2,22 *	2,9	-
		0,991	1,3	3.514,4	**		2,48	2,16 *	1,2	1/D ²
1.100	11	0,947	4,0	1.139,3	**		18,78	1,27 ns	4,5	-
		0,843	1,3	161,7	**		3,13	1,56 *	1,1	1/D ²
	12	0,974	4,0	1.141,2	*		18,78	1,23 ns	4,5	-
		0,851	1,3	171,6	**		3,13	1,52 *	1,1	1/D ²
1.200	11	0,981	3,2	1.280,3	**		14,34	2,25 *	3,7	-
		0,983	1,3	1.471,0	**		2,87	2,45 *	1,1	1/D ²
	12	0,981	3,2	1.275,0	**		14,34	2,22 *	3,7	-
		0,983	1,3	1.465,4	**		2,87	2,40 *	1,1	1/D ²
1.300	3	0,949	4,7	294,8	**		24,80	1,85 *	4,7	-
		0,943	0,1	264,9	**		0,75	1,98 *	0,1	1/D ²
	12	0,993	1,6	2.290,4	**		6,92	1,79 *	1,9	-
		0,993	1,3	2.292,9	**		3,46	1,91 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre D_u y D_L , vi valor inferior al D_L

Cuadro N° 8

**VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ÁREA DE COPA PARA LA EXPOSICION NORTE**

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t a b c	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	3	0,907	13,7	295,9	**		35,45	2,07 *	13,7	-
		0,880	0,4	254,1	**		0,92	2,26 *	0,3	1/D ²
		0,989	2,5	2.733,6	**		11,53	2,11 *	2,8	-
1.100	3	0,982	1,3	1.652,2	**		2,88	2,69 i	1,1	1/D ²
		0,885	9,5	270,7	**		39,95	1,40 i	9,5	-
		0,850	0,3	199,2	**		1,26	1,28 ns	0,3	1/D ²
1.200	12	0,979	3,2	1.596,0	*		15,15	1,16 ns	3,5	-
		0,974	1,2	1.303,3	**		0,50	1,17 ns	1,1	1/D ²
		0,883	7,2	226,1	**		40,85	1,76 *	7,2	-
1.300	11	0,855	0,2	176,3	**		0,01	1,94 *	0,2	1/D ²
		0,943	4,6	495,5	**		25,39	1,62 *	5,0	-
		0,886	1,1	234,0	**		1,23	1,50 *	1,0	1/D ²
1.300	12	0,991	2,0	1.694,5	**		10,49	1,80 *	2,4	-
		0,991	1,3	1.667,4	**		3,49	1,77 *	1,0	1/D ²
		0,991	2,0	1.688,7	**		10,49	1,80 *	2,4	-
		0,991	1,3	1.658,6	**		3,49	1,77 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u, i valor intermedio entre du y D^L, vi valor inferior al d^L

Los valores de F para los modelos presentados, con y sin ponderación, se mostraron altamente significativos al 95% de significancia.

Los valores de significancia de t fueron significativos y altamente significativos.

El coeficiente de variación de los residuos presentó desde valores muy pequeños hasta valores del 40%.

Algunos de los modelos ensayados presentaron autocorrelación de errores, ya que el Índice de Durbin-Watson obtenido en la regresión fue inferior al valor crítico teórico d^L. Otros se presentaron en la zona de indeterminación por lo que no se pudo comprobar la existencia de la autocorrelación de errores por este método. El resto no mostró evidencia de la autocorrelación de errores.

El Índice de Sperman para cada variable independiente para los modelos finales seleccionados (Figuras N°s 9 a 14) dió diferencias no significativas en gran parte de los casos al aplicarse la prueba de t con n-2 grados de libertad para un 95% de significancia. Por lo que fue rechazada la hipótesis que había heterocedasticidad en los casos mencionados.

Al observar los t obtenidos de los coeficientes de los modelos elegidos, se puede inferir que no hay multicolinealidad como lo sugiere la bibliografía (Cantatore de Frank, 1983).

El r^2 presentó buenos resultados entre los modelos finales seleccionados (Cuadros N°s 9 a 14), pero algunos autores citan que el mismo puede aparecer sobreestimado por la ponderación (Alder, 1980; Chauchard, 1991). Por otra parte, regresiones en las cuales la misma variable dependiente ha sido sometida a diferentes transformaciones, no pueden compararse directamente mediante el r^2 (Alder, 1980). Por lo que se recurrió al Índice de Furnival, que tiene en cuenta las transformaciones que sufrieron la variable dependiente, el tamaño de la muestra, las ponderaciones aplicadas y el error estándar de la estimación.

Modelos Finales Seleccionados

Los modelos que presentaron los mejores estadísticos (para cada combinación de exposición y altitud), buena aptitud a través del ANARE y simplicidad, fueron seleccionados. Se los muestra en los Cuadros N°s 9 a 14.

Se tuvo en cuenta como principal estadístico al Índice de Furnival, seleccionando aquel modelo con menor valor. Las excepciones son los modelos de Área de Copa para exposición Norte a los 1100 msnm, que presentan problemas de autocorrelación de errores.

Cuadro N° 9

**MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL
PARÁ LA EXPOSICION ESTE**

Altitudes (msnm)		
1000	$HT = 3,05766 \cdot D^{0,5}$ lim inf = 2,82129 ta = 26,3558 **	Modelo 8 lim sup = 3,29403 Weigth = $1/D^2$
1100	$HT = 2,793537 \cdot D^{0,5}$ lim in f = 2,58981 ta = 28,1419 **	Modelo 8 lim sup = 2,99726 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 2,480061 \cdot D^{0,5}$ lim inf = 2,27617 ta = 24,8134 **	Modelo 8 lim sup = 2,68395 Weigth = $1/D^2$
1300	$HT = 2,007090 \cdot D^{0,5}$ lim inf = 1,76819 ta = 17,9115 **	Modelo 8 lim sup = 2,24599 Weigth = $1/D^2$

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE = m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 10

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION SUR

Altitudes (msnm)		
1000	$HT = 0,737368 \cdot D - 0,005125 \cdot D^2$ lim inf a = 0,63146 lim inf b = -0,00691 ta = 14,2229 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 6 lim sup a = 0,84327 lim sup b = -0,00334
1100	$HT = 2,601321 \cdot D^{0.5}$ lim inf = 2.42859 ta = 30,6837 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,77405 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,955760 \cdot D^{0.5} + 140,053948/D$ lim inf a = 1,549339 lim inf b = 48,40650 ta = 9,9355 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 10 lim sup a = 2,36213 lim sup b = 231,7010 tb = 3,1548 **
1300	$HT = 1,658085 \cdot D^{0.5}$ lim inf = 1,50756 ta = 23,3568 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 1,80861 Weigth = $1/D^2$

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 11

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION NORTE

Altitudes (msnm)		
1000	$HT = 0,669719 * D - 0,005471 * D^2$ lim inf a = 0,57426 lim inf b = -0,00760 ta = 14,3529 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 6 lim sup a = 0,76517 lim sup b = -0,00334 tb = -5,2602 **
1100	$HT = 2,019294 * D^{0.5}$ lim inf = 1,83356 ta = 22,0766 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,20503 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,483331 * D^{0.5} + 45,877077/D$ lim inf a = 1,30558 lim inf b = 29,1944 ta = 17,0714 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 10 lim sup a = 1,66108 lim sup b = 62,5597 tb = 5,6257 **
1300	$HT = 1,948446 * D^{0.5}$ lim inf = 1,76236 ta = 22,2019 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,13454 Weigth = $1/D^2$

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 12

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION ESTE

Altitudes (msnm)		
1000	$AC = 0,655822 \cdot D + 0,009062 \cdot D^2$ lim inf a = 0,31409 lim inf b = -0,00239 ta = 3,9150 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 4 lim sup a = 0,99755 lim sup b = -0,01574 tb = 2,7689 **
1100	$AC = 0,916762 \cdot D$ lim inf = 0,79729 ta = 15,7480 **	Modelo 3 lim sup = 1,03624 Weigth = $1/D^2$
1200	$\ln(AC) = 0,939323 \cdot \ln(D)$ lim inf = 0,89632 ta = 44,5596 **	Modelo 11 lim sup = 0,98233
1300	$AC = 0,716785 \cdot D$ lim inf = 0,53722 ta = 8,5105 **	Modelo 3 lim sup = 0,89635 Weigth = $1/D^2$

AC = Area de Copa (m²)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m²

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 13

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION SUR

Altitudes (msnm)		
1000	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,525555 \cdot \text{Ln}(\text{D} + \text{D}^2)$ lim inf = 0,50746 ta = 3,9150 **	Modelo 12 lim sup = 0,54365 Weigth = $1/\text{D}^2$
1100	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,444185 \cdot \text{Ln}(\text{D} + \text{D}^2)$ lim inf = 0,42187 ta = 21,0073 **	Modelo 12 lim sup = 0,46650 Weigth = $1/\text{D}^2$
1200	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,91467 \cdot \text{Ln}(\text{D})$ lim inf = 0,86554 ta = 44,5596 **	Modelo 11 lim sup = 0,96380 Weigth = $1/\text{D}^2$
1300	$\text{AC} = 0,561629 \cdot \text{D}$ lim inf = 0,48846 ta = 16,2754 **	Modelo 3 lim sup = 0,63480 Weigth = $1/\text{D}^2$

AC = Area de Copa (m^2)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m^2

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 14

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION NORTE

Altitudes (msnm)		
1000	$AC = 0,0,943747 \cdot D$ lim inf = 0,81380 ta = 14,8357 **	Modelo 3 lim sup = 1,07369 Weigth = $1/D^2$
1100	$AC = 0,641764 \cdot D$ lim inf = 0,54943 ta = 14,1138 **	Modelo 3 lim sup = 0,73410 Weigth = $1/D^2$
1200	$AC = 0,553681 \cdot D$ lim inf = 0,46850 ta = 13,2783 **	Modelo 3 lim sup = 0,63886 Weigth = $1/D^2$
1300	$\ln(AC) = 0,826522 \cdot \ln(D)$ lim inf = 0,78360 ta = 40,8337 **	Modelo 11 lim sup = 0,86944 Weigth = $1/D^2$

AC = Area de Copa (m^2)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m^2

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

En los gráficos de dispersión de los residuales se observó que los valores no siguen ningún patrón sistemático aparente. En los gráfico de valores predecidos - valores observados, en algunos modelos, se notó cierta dispersión no deseable de los valores observados con respecto a los ajustados.

Ningún residual normalizado superó el rango de +/- tres desviaciones estándar, factor que permite inferir que todos los datos pertenecen a la misma población (Chauchard, 1991).

Alcances de los modelos

Considerando los intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados para los modelos de cada combinación de exposición y altitud, se determinó si existían diferencias significativas.

Cuadro N° 15

**DETERMINACION DE LOS ALCANCES PARA LOS MODELOS DE ALTURA
TOTAL PARA CADA COMBINACION DE EXPOSICION Y ALTITUD**

	S10	S11	S12	S13	E10	E11	E12	E13	N10	N11	N12	N13
S10	-	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
S11	ns	-	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*	*	*
S12	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S13	*	*	ns	-	*	*	*	ns	*	*	ns	ns
E10	ns	*	ns	*	-	ns	*	*	ns	*	*	*
E11	ns	ns	ns	*	ns	-	ns	*	ns	*	*	*
E12	ns	ns	ns	*	*	ns	-	*	ns	*	*	*
E13	ns	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
N10	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns
N11	*	*	ns	*	*	*	*	ns	ns	-	ns	ns
N12	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	-	ns
N13	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	-

* : Significativo al 95% de significancia

ns : No significativo

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en la Altura Total que se evidencia a través de la significancia, tales como en las Este y Sur. En la exposición Sur los modelos a los 1100 y 1200 msnm son intermedios entre los modelos a los 1000 y 1300 msnm. En la exposición Este el modelo a los 1100 msnm es intermedio entre los modelos a los 1000 y 1200 msnm. También existen diferencias significativas entre los modelos a 1200 y 1300 msnm. En la exposición Norte no se detectaron diferencias significativas entre las distintas altitudes.

Dentro de una misma altitud para diferentes exposiciones se detectaron

diferencias significativas entre la exposición Sur con la Norte a los 1.100 msnm. No se detectaron diferencias significativas a los 1000 y 1300 msnm entre las distintas exposiciones.

Entre distintas exposiciones y altitudes se presentaron pocas diferencias significativas al comparar las combinaciones correspondientes a Este y Sur, salvo las del gradiente altitudinal antes mencionado. Pero se detectó una mayor cantidad de diferencias significativas entre dichas combinaciones y las correspondientes a las de la exposición Norte.

Cuadro N° 16

**DETERMINACION DE LOS ALCANCES PARA LOS MODELOS DE AREA DE COPA
PARA CADA COMBINACION DE EXPOSICION Y ALTITUD**

	S10	S11	S12	S13	E10	E11	E12	E13	N10	N11	N12	N13
S10	-	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
S11	*	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*
S12	*	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
S13	*	ns	ns	-	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
E10	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E11	*	ns	ns	*	ns	-	ns	ns	ns	*	*	*
E12	*	ns	ns	*	ns	ns	-	ns	*	*	ns	*
E13	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns
N10	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	-	*	*	*
N11	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	-	ns	ns
N12	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	-	ns
N13	*	*	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	-

* : Significativo al 95% de significancia

ns : No significativo

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en el tamaño del Area de Copa que se evidencia a través de la significancia, tales como en las Norte y Sur. En ambas exposiciones los modelos a los 1000 msnm presentan diferencias significativas con los modelos de mayores altitudes. En la exposición Este no se presentan diferencias significativas para las distintas altitudes.

Dentro de una misma altitud para diferentes exposiciones se detectaron diferencias significativas entre la exposición Sur con la Norte a los 1000 y 1200

msnm. La exposición Este con la Norte se diferencia a los 1100 msnm. No se detectaron diferencias significativas a los 1300 msnm entre las distintas exposiciones.

Entre distintas exposiciones y altitudes se presentaron varias diferencias significativas al comparar las combinaciones correspondientes a Norte, Este y Sur, incluyendo las correspondientes al gradiente altitudinal antes mencionado. Sin embargo, se detectó una mayor cantidad de diferencias significativas entre las correspondientes al Sur y al Norte.

CONCLUSIONES

Para el ajuste de ecuaciones de Altura Total, el modelo que mejor se adaptó es el potencial, de potencia $b=0.5$. Para el ajuste de ecuaciones de Área de Copa el modelo que mejor se adaptó es el lineal, con ordenada al origen igual a cero.

Con respecto a los estadísticos ensayados, los modelos presentaron distintos comportamientos en el ajuste. Un mejor ajuste y aptitud se observó en los modelos que fueron ponderados por la inversa del DAP elevado al cuadrado y, en consecuencia, el error estándar de la estimación disminuyó notablemente. Por otra parte, la presencia de coeficientes independientes en los modelos está asociada a los valores más bajos de los estadísticos y peor aptitud en el análisis del ANARE.

En cuanto a los modelos de Altura Total seleccionados, menos del 7% de la variación no es explicada por el DAP y sus transformaciones algebraicas. El coeficiente de variación de los residuos varió entre 0,3 y 4%. Para los modelos de Área de Copa, en tanto, menos del 18% de la variación no es explicada por el DAP y sus transformaciones algebraicas. El coeficiente de variación de los residuos osciló entre 0,01 y 3%.

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en la Altura Total y Área de Copa, lo que daría la pauta para el ajuste y uso de ecuaciones individualizadas por rango de altitud. La exposición Norte no presentó diferencias significativas en las diferentes altitudes para Altura Total. La exposición Este no presentó diferencias significativas en las diferentes altitudes

para Area de Copa.

Dentro de una misma altitud se detectaron diferencias en los modelos de Altura Total y Area de Copa, lo que daría la pauta para el ajuste y uso de ecuaciones individualizadas por clases de exposición. La exposición Norte es la más disímil en relación a la Este y la Sur.

RECONOCIMIENTOS

Al Sr. Andres Nicolás Focke por su apoyo en la toma de datos de campo. Al Productor Forestal Sr. Nikita van Rennenkampf por el apoyo logístico y movilización en el lugar de la campaña.

REFERENCIAS

Alder, D., 1981. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos : Predicción del Rendimiento. Vol 22/2. FAO-Roma, Italia.

Bonnier, G. y Tedín, O., 1983. Bioestadística, Los Métodos Estadísticos para la Elaboración de Experimentos Biológicos. Ed Acribia. España.

Cailliez, F., 1981. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos : Estimación del Volumen. Vol 22/1. FAO-Roma, Italia.

Cantatore de Frank, N., 1983. Manual de Estadística Aplicada. Tomo II. Ed Hemisferio Sur. Argentina.

Carabelli, F. A., 1981. Estudio Bibliográfico sobre Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krassner, con Énfasis en Aspectos de Dinámica y Manejo del Bosque. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de la Patagonia. Centro de Investigaciones Forestales. Argentina.

Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Brister, G. y Bailey, R., 1983. Timber Management: a Quantitative Approach. Wiley & Sons. EE.UU.

Chauchard, L., 1991. Familia de Funciones de Volumen de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krasser). Actas de las VI Jornadas Técnicas : Inventarios Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado. Pag. 26-39. Argentina.

Donoso, C., 1985. Relaciones Vegetación-Altitud y Exposición en la Formación Forestal "Bosque Andino Abierto" en el Area de Bullileo. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Chile.

Friedl, R.; Costas, R.; Maiocco, D.; Grance, L. y Palavecino, J., 1991. Construcción de Tablas de Volúmenes Estándares para (*Araucaria angustifolia* (Bert) o Ktze. Actas de las VI Jornadas Técnicas : Inventarios-Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado. Pag. 57-68. Argentina.

Gaillard de Benítez, C.; Gallo de Ferrari, J. y Pece de Ríos, M., 1988. Determinación de Curvas de Altura en Función del Diámetro en Parcelas Experimentales de Alamos de la Estación Experimental San Carlos, Departamento Banda, Santiago del Estero. Actas del VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Pag. 22. Argentina.

Little, T. y Hills, J., 1985. Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Ed Trillas. México.

Moore, D., 1983. Flora of Tierra del Fuego. Publicado por Anthony Nelson (England) y Missouri Botanical Garden (USA).

Muttarelli, E. y Orfila, E., 1971. Plan de Investigaciones Silvo-Dasocráticas en las Etapas de Ordenación, Recuperación y Producción Económica de los Bosques Andino-Patagónicos. Informe Final. Convenio CAFPTA-Cátedra de Dasonomía (UBA). Inédito. Cátedra de Botánica, Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP.

Neter, J. y Wasserman, W., 1973. Fundamentos de Estadística. Compañía Ed Continental. México.

Orfila, E., 1987. Consideraciones Dasométricas sobre (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krasser en la Zona del Lago General Vintter, Prov. del Chubut, Rep. Argentina. Jornadas sobre Nothofagus. Villa La Angostura, Neuquén. Argentina.

Puente, M.; Marín, G. y Cuevas, R., 1985. Modelos de Rodal para Bosques de (*Nothofagus glauca* (Phil) Krasser en Bullileo. Dpto. de Manejo de Recursos Forestales. Investigación y Desarrollo Forestal. Chile.

Sokal, R y Rohlf, J., 1984. Introducción a la Bioestadística. Ed Reverté. España.

Uriarte, A. y Grosse, H., 1991. Los Bosques de Lenga. Una Orientación para su Uso y Manejo (Recopilación Bibliográfica). Informe Técnico N° 126. CORFO-INFOR. Chile.

Yamane, T., 1979. Estadística. Ed Harla. México.

EL GENERO *Nothofagus* BLUME EN CHILE, ALGUNAS IMPLICACIONES DE SU DIVERSIDAD BIOLOGICA. Claudia Polyméris, Departamento de Botánica, Universidad de Concepción, Casilla 2407, Concepción.

RESUMEN

*Se examina el rol de los factores que posiblemente hayan llevado al desarrollo de la variabilidad morfológica observada en los taxa de *Nothofagus* Blume, dentro de su rango de distribución en Chile. Se sugiere que se trata de adaptaciones a gradientes ambientales, basadas en un polimorfismo genético, el cual sería fundamental para la diversidad biológica del género, lo que implica, a su vez, consecuencias para la conservación de *Nothofagus* en Chile.*

INTRODUCCION

El género *Nothofagus* constituye un elemento estructural muy importante de los bosques del sur de Chile, donde está presente con 11 taxa. El género, que está conformado, en la actualidad, por 35 especies en el mundo (Hill & Read 1991), ha sido objeto de numerosos estudios. Se ha investigado tanto su distribución en el pasado y actual como su ecofisiología, la fitosociología de los bosques dominados por éste y la variabilidad morfológica presente en muchas de sus especies.

Las especies vivientes de *Nothofagus* tienen una distribución restringida al Hemisferio Sur, donde están presentes en el sur de Sudamérica, Australia, Nueva Zelandia, Nueva Caledonia y Nueva Guinea. Esto le da una posición interesante al género con respecto a los demás representantes de la familia Fagaceae, que tienen una distribución casi exclusivamente boreal (Hill & Read l.c.). La edad de esta familia junto con sus características de dispersión, le dan gran importancia en la discusión biogeográfica y paleobotánica (Heywood et al. 1982).

Debido a que la mayoría de los representantes del género **Nothofagus** en Chile son cotizados por su madera; roble, roble blanco, roble maulino, coihue, rui, raulí, lenga, coihue de Magallanes y coihue de Chiloé (Rodríguez et al. 1983), éstos han sufrido una explotación bastante intensa. La especie **N. alessandrii** Espinosa ha sido catalogada como "en peligro", mientras que **N. glauca** (Phil.) Krasser y **N. leonii** Espinosa son consideradas como "vulnerables" en la Lista Roja de la Flora Chilena Terrestre (Benoit 1989). Por ello, se impone la necesidad de criterios adecuados de manejo y conservación para el género **Nothofagus** en Chile.

En el presente trabajo, se examina el rol de los factores que posiblemente hayan llevado al desarrollo de la variabilidad morfológica observada en los taxa de **Nothofagus** dentro de su rango de distribución en Chile, el cual estaría relacionado a eventos del pasado. Se sugiere que se trata de adaptaciones a gradientes ambientales basadas en un polimorfismo genético, el cual sería fundamental para la diversidad biológica del género, lo que implica, a su vez, consecuencias para la conservación de **Nothofagus** en Chile.

DISTRIBUCION ACTUAL DEL GENERO NOTHOFAGUS BLUME EN CHILE

Actualmente, se reconoce la presencia de 11 taxa dentro del género **Nothofagus** Blume en Chile. Se trata de **Nothofagus glauca** (Phil.) Krasser, **N. alessandrii** Espinosa, **N. alpina** (Poepp. et Endl.) Oerst., **N. obliqua** (Mirb.) Oerst. var. **obliqua**, **N. obliqua** (Mirb.) Oerst. var. **macrocarpa** (A. DC) Reiche, **N. pumilio** (Poepp. et Endl.) Krasser, **N. dombeyi** (Mirb.) Oerst., **N. nitida** (Phil.) Krasser, **N. betuloides** (Mirb.) Oerst., **N. antarctica** (G. Forster) Oerst. y **N. leonii** Espinosa (Marticorena & Quezada 1986, Rodríguez et al. 1983). Varios autores, entre ellos Fuenzalida (1965), Gajardo (1983), Ormazabal & Benoit (1986), Rodríguez et al. (1983), Ramírez (1987), así como Schmithüsen (1956), describen la distribución actual del género **Nothofagus** en Chile.

La especie cuyo rango de distribución llega más al norte, es **N. obliqua**, cuya variedad típica, el roble, se encuentra desde la provincia de Colchagua en la VI Región hasta la de Llanquihue en la X Región, creciendo en las laderas de ambas cordilleras y en la depresión intermedia. En el extremo norte del área

de distribución del género se encuentra *N. obliqua* var. *macrocarpa*, el roble blanco, en un sector restringido entre la provincia de Valparaíso en la V Región y la de Rancagua en la VI Región. En el Parque Nacional La Campana (32° 55'40") se hallan los ejemplares más nortinos de este taxón. *Nothofagus obliqua* var. *obliqua* y *N. obliqua* var. *macrocarpa*, al igual que *N. glauca* (roble maulino), *N. alessandrii* (ruil), *N. alpina* (raulí) y *N. leonii* (hualo) se desarrollan en un clima de tipo mediterráneo y presentan hojas caducas.

Nothofagus glauca, *N. alessandrii*, *N. leonii* y *N. obliqua* var. *obliqua* están presentes en el Bosque Caducifolio Maulino (Gajardo, 1983) o Bosque de Transición (Fuenzalida 1965), que se ubica en la Cordillera de la Costa de las provincias de Talca y Cauquenes. Además, en los cursos de agua, se encuentra allí *N. dombeyi*, especie de hoja chica y perenne (Rodríguez et al. 1983).

Nothofagus dombeyi (coihue), *N. nitida* (coihue de Chiloé) y *N. betuloides* (coihue de Magallanes) poseen hojas chicas y perennes; los coihues predominan desde la provincia de Valdivia hasta el Cabo de Hornos. *Nothofagus antarctica* y *N. pumilio*, especies de hoja chica y caduca, se desarrollan en climas subantárticos fríos y secos. El extremo sur del área de distribución del género es el Cabo de Hornos, a una latitud aproximada de 55° 58' S.

Se pueden entonces distinguir dos centros importantes de distribución del género en Chile, uno representado por los bosques al sur del río Biobío (37°45'S, aproximadamente), es decir, el Bosque Meridional y la Pluviselva Siempreverde Austral (Schmithüsen 1956), y el otro por el Bosque Caducifolio Maulino al norte del río Biobío (Gajardo 1983). Los taxa que unen a los dos centros son *N. obliqua* var. *obliqua* y *N. dombeyi*. El primero hace la conexión con el límite norte del área de distribución del género (32°55'40") y, el segundo, llega hasta los Bosques Andino- Patagónicos (Gajardo 1983), donde se asocia a especies de *Nothofagus* de hoja chica y caduca, las que a su vez llegan hasta el límite altitudinal y el extremo sur del área de distribución del género (Cabo de Hornos, 55°58' aproximadamente).

VARIACION E HIBRIDACION EN ESPECIES DE NOTHOFAGUS CHILENO

Variación clinal o continua así como variación discontinua, también llamada variación racial o ecotípica, son fenómenos que se describen con frecuencia para los fenotipos de especies arbóreas en su ambiente natural (Stern & Roche 1974). En el área de distribución del género *Nothofagus*, se observan con frecuencia variaciones, tanto continuas o clinales como discontinuas o ecotípicas. Como se pudo comprobar revisando material de herbario, los caracteres fenotípicos de especímenes pertenecientes a una misma especie de *Nothofagus* pueden variar bastante de un lugar a otro, en lo que se refiere a forma, tamaño, textura y otras características de las hojas.

Donoso (1987) describe una variación clinal en peso y tamaño de nueces de *N. obliqua*. Peso y tamaño disminuyen gradualmente desde el norte al sur del área de distribución del taxon, y desde altas a bajas altitudes. Según Donoso la variación latitudinal es de tipo discontinuo y la separación de los dos "ecotipos" se produciría a la altura de Malleco (latitud 38°20'S). El "ecotipo" presente al norte de Malleco se caracteriza por una alta capacidad germinativa y buena respuesta a la estratificación fría, en cambio el "ecotipo" presente al sur tiene baja capacidad germinativa y poca respuesta a la estratificación fría. En el sentido altitudinal, según Donoso (1987), existe una variación clinal o continua en cuanto a peso de semillas y número de estambres por flor masculina, en el mismo taxon.

Además, Donoso observó una variación clinal en el tamaño de las semillas de *N. alpina*. Esta disminuye de norte a sur, entre las latitudes 35° y 40°S. La variación observada por el autor en cuanto a capacidad germinativa es similar a la de *N. obliqua*, pero las tendencias se expresan con menos nitidez. También en *N. dombeyi* se encontró el fenómeno de variación clinal en cuanto a tamaño de semillas así como en cuanto a viabilidad y capacidad germinativa, en poblaciones entre los 37° y 40° latitud sur. Para los tres parámetros mencionados se observó una disminución gradual de norte a sur (Donoso 1987, Ordoñez 1986).

Se ha observado una población de *Nothofagus* cerca de las Termas de Chillán (36°53'S-71°28'W), en un sitio perturbado al lado de una corrida de lava, donde los árboles presentaron características intermedias entre *N. obliqua* y *N. pumilio*. Por lo tanto, se puede especular que se trataría de un probable híbrido de *N. obliqua* x *N. pumilio*. De hecho, existe abundante evidencia para hibridación entre diferentes especies del género *Nothofagus*

en su área de distribución en el mundo (Donoso 1979, 1987; Donoso & Atienza 1983; Donoso & Landrum 1979; Hill & Read 1991; Morales 1986; Steenis 1953, 1971; entre otros).

Steenis (1953) sugirió que *N. leonii*, por sus características intermedias entre *N. obliqua* y *N. glauca*, podría ser un híbrido entre estos. Donoso & Landrum (1979) concluyeron que efectivamente *N. leonii* corresponde a un híbrido entre *N. obliqua* y *N. glauca* y que no sería de distribución tan restringida como se había pensado, sino que se podría producir también en otras áreas de traslape de poblaciones de *N. obliqua* y *N. glauca* (Donoso 1987). Morales et al. (1986) sugieren la existencia de híbridos entre *N. obliqua* y *N. alpina*, posiblemente a lo largo de toda la distribución de *N. alpina*, y muy probablemente en el límite norte de la distribución de *N. alpina*. Según Donoso (1987) existe evidencia además, para la ocurrencia de hibridación entre *N. antarctica* y *N. pumilio*, la que podría ser responsable, en parte, de la variabilidad fenotípica de *N. antarctica*.

Asimismo, existe amplia evidencia para la hibridación que ocurre entre las especies siempreverdes de *Nothofagus* en Chile. Muñoz (1980) menciona la presencia de un probable híbrido entre *N. betuloides* y *N. dombeyi* en el Parque Nacional Puyehue. Heusser (1964) observó una variabilidad en poblaciones pioneras de *N. nitida* y *N. betuloides* en los alrededores de la Laguna San Rafael y sugiere que ocurre hibridación entre estas especies. Donoso & Atienza (1983) confirmaron que se produce hibridación entre *N. dombeyi* y *N. nitida* por un lado y, por otro, entre *N. dombeyi* y *N. betuloides*.

DISCUSION

Diferentes especies del género *Nothofagus* hibridizan con facilidad. La producción de híbridos fértiles permite la hibridación introgresiva con incorporación de genes de una especie al pool genético de otra (Donoso 1987; Stern & Roche 1974). Considerando como válidas las especies del género *Nothofagus* en Chile, dentro de un modelo básico de gradualismo filético (Rothhammer 1984), y dado el patrón de distribución actual de los taxa del género en Chile y la gran variabilidad fenotípica observada dentro del rango que ocupa, se propone la siguiente hipótesis:

El patrón evolutivo del género **Nothofagus** en Chile se puede interpretar como resultado de la adaptación a un ambiente determinado, en primer término por un gradiente climático complejo, marcado por las condiciones hídricas y térmicas, y modificado por un segundo gradiente o eje de variación, que correspondería a las perturbaciones naturales.

Historia Biológica del Género **Nothofagus**

Nothofagus ha sido concebido como un género clave para la biogeografía (Van Steenis 1971) y su historia fitogeográfica y evolutiva ha captado el interés de los especialistas. Existe amplia y controvertida literatura acerca del tema (Cronquist 1981; Hill 1991; Hill & Read 1991; Philipson & Philipson 1988; Romero 1984, 1986; Steenis 1953, 1971; entre otros). Con respecto a los patrones de distribución y de variación del género en Chile, la historia biológica de **Nothofagus** permite la interpretación de los siguientes aspectos:

Patrones de Hibridación

Según Romero (1984), los presuntos ancestros del género **Nothofagus**, cuya presencia en el Hemisferio Sur está documentada por polen del tipo "brassi" que aparece en el Santonianiano en el Sur de Australia, eran árboles con hojas perennes y con siete flores por inflorescencia. Según Philipson & Philipson (1988), es probable que el hábito siempreverde haya evolucionado más de una vez en la historia del género y, por lo tanto, no necesariamente constituiría un rasgo primitivo. Hill & Read (1991), a su vez, observan que el carácter "siempreverde" evolucionó independientemente por lo menos tres veces dentro del género y por lo tanto no sería útil como carácter primario en la clasificación infragenérica. En cambio, estos autores sugieren que la hibridación solamente es posible entre especies que poseen el mismo tipo de polen.

Los patrones de hibridación observados en Chile son consistentes con esta hipótesis: **Nothofagus nitida**, **N. dombeyi** y **N. betuloides** tienen polen del tipo "fusca", mientras que **N. obliqua**, **N. glauca** y **N. alpina**, así como **N. antarctica** y **N. pumilio** poseen polen de tipo "menziesii" (Philipson &

Philipson 1988). Ahora bien, hay que dejar constancia, que para el caso particular y restringido de Chile, estos dos grupos coinciden también en cuanto a hábito siempreverde y deciduo, respectivamente. En el caso de los coihues, *N. betuloides*, *N. dombeyi* y *N. nitida*, éstos poseen flores, hojas y cutículas de características similares, y se supone que las tres especies son de diferenciación muy reciente (Steenis 1953, 1971; Hill & Read 1991).

Adaptación a las Bajas Temperaturas

Steenis (1971) postula que en el Terciario hubo una variedad de *Nothofagus* mucho más amplia que hoy y que el deterioro del clima durante el Terciario Tardío y las glaciaciones del Pleistoceno llevaron a la destrucción del bosque mesofítico austral, constituido, entre otras, por especies de *Nothofagus* más termófilas. El autor explica la selección de especies adaptadas a climas templado-fríos por el trayecto a lo largo de la frontera antártica, que habría sido una ruta de dispersión del género. En este trayecto habrían sobrevivido sólo especies capaces de soportar temperaturas bajas.

Romero (1986) sostiene que en las palinofloras del Hemisferio Sur, que constituyen una mezcla entre especies supuestamente adaptadas a climas tropicales y subtropicales con especies de climas templado-fríos, *Nothofagus* siempre es indicador de temperaturas más frías. El mismo autor concluye que los cambios climáticos durante el Plioceno y Pleistoceno llevaron tanto a la extinción de especies del tipo "brassi" en Sudamérica, Nueva Zelandia y Australia, como probablemente a la diferenciación del grupo de especies *N. dombeyi*, *N. betuloides* y *N. nitida*.

Patrón de Distribución

Simpson (1979) postula que el río Biobío marca un punto geográfico que divide la vegetación. Este quiebre se produciría por la influencia de varios factores: la altura de la Cordillera de los Andes disminuye alrededor de los 38°S; el ciclo de vientos producto del ciclón del Pacífico gira y pasa por la misma latitud; el patrón de glaciaciones fue de otro tipo al Norte de los 40° S; y la actividad sísmica causada por la falla de Lebu tiene otra dinámica al sur de

la línea de quiebre postulada.

La distribución de las grandes masas boscosas dominadas por *Nothofagus* parece seguir este mismo patrón. El bosque maulino, al norte, y los bosques al Sur del Biobío están divididos por un quiebre alrededor de la latitud 38°S. Este patrón se repite además en la distribución de los dos "ecotipos" de *N. obliqua* reconocidos por Donoso (1987).

Flexibilidad Adaptativa

En general, se puede sostener que el género se caracteriza, a través de su historia biológica, por una gran plasticidad evolutiva, que lo lleva a ocupar una amplia variedad de hábitats y a adaptarse a cambios climáticos y geomorfológicos. La historia de glaciaciones, con consecutivos aislamientos geográficos y reversiones de ellas, habría favorecido tanto la especiación incipiente como la reversión de la misma, causando un complejo cuadro de variabilidad en el género caracterizado por procesos de hibridación e introgresión (Stern & Roche 1974, Donoso 1987).

El Gradiente Climático Complejo

Varios autores describen la fitosociología de los bosques dominados por especies de *Nothofagus* y las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollan en la Zona Mesomórfica e Higromórfica de Chile (Alberdi 1987, Ramírez 1987, Ramírez et al. 1985). La distribución de formaciones boscosas se rige primariamente por la disponibilidad de agua. En las zonas templadas y templado-frías con estaciones marcadas, las adaptaciones a la estación desfavorable, y en especial a las temperaturas bajas, tienen gran importancia (Stern & Roche 1974).

La historia evolutiva del género *Nothofagus* tiene una estrecha relación con la selección de genes que proporcionan resistencia al frío. Muchos de los hábitats ocupados por especies del género *Nothofagus* están sometidos a situaciones de estrés térmico y, asociado con el, estrés hídrico, con características como temperaturas nocturnas bajas y heladas en invierno,

primavera e incluso verano, que ejercen una fuerte presión selectiva sobre propiedades relacionadas con la resistencia al frío y el balance hídrico (Ramírez et al. 1985, Alberdi 1987).

Como propiedades relacionadas a una adaptación a las bajas temperaturas en el género *Nothofagus*, se nombran en la literatura características como presencia de sustancias crioprotectoras, resistencia de hojas y tallos a bajas temperaturas, esclerofilia (Alberdi 1987), así como cambios en la composición de lípidos en los cloroplastos (Alberdi et al. 1991) y cambios en contenido de aminoácidos (Meza-Basso et al. 1986). En *N. dombeyi* se observó un aumento de sustancias que cumplen funciones crioprotectoras in vitro en estados tempranos de desarrollo, las que proporcionarían una mayor resistencia al frío a las plántulas y tendrían relación con la capacidad de la especie para colonizar hábitats desfavorables (Alberdi 1987).

Debido a que variaciones clinales a lo largo del área de distribución de un taxon se pueden explicar de la manera más simple como el producto de la selección natural a lo largo de gradientes climáticos (Stern & Roche 1974), se puede postular que las variaciones clinales detectadas en poblaciones de especies de *Nothofagus* probablemente son el resultado de cambios de frecuencias génicas, basados en el valor selectivo de ciertos alelos que varía a lo largo de gradientes climáticos marcados por factores hídricos y térmicos. Esta variación a lo largo de gradientes climáticos está bien documentada para *N. obliqua* (Donoso 1979, 1987). Por otro lado, en las especies *N. dombeyi*, *N. antarctica*, *N. pumilio*, y *N. betuloides* es notable la selección de caracteres relacionados a la resistencia al frío, aunque esta propiedad haya alcanzado un desarrollo menor que la de especies arbóreas pertenecientes a la misma subclase Hamamelidae, por ejemplo en *Betula* sp., en el Hemisferio Norte (Sakai & Larcher 1987).

El Gradiente de Perturbación Natural

Stern & Roche (1974) sostienen que la importancia de eventos catastróficos en ciertas áreas puede ser tal, que lleva a adaptaciones o estrategias adaptativas de las plantas frente a ellos, sobre todo cuando se repiten con cierta frecuencia. White (1979) discute en forma exhaustiva la influencia de perturbaciones naturales y eventos catastróficos sobre la vegetación. Según este autor, la dinámica generada por un régimen de perturbaciones es difícil de

reconciliar con el concepto de climax, ya que éste está basado sobre la idea de la autogénesis de una comunidad en un medio físico estable, con un desarrollo continuo hasta llegar a la comunidad climax, la que representa la vegetación de óptima adaptación a un ambiente estable dado (Weaver & Clements 1944). Si bien Whittaker (1967) excluyó perturbaciones mayores de su concepto del gradiente ambiental complejo, White (1979) señaló que el gradiente de perturbación natural, que va desde perturbaciones menores de mayor frecuencia hasta perturbaciones mayores de menor frecuencia, está íntimamente relacionado al gradiente ambiental complejo.

En Chile se han efectuado estudios sobre la dinámica regenerativa en bosques dominados por especies de *Nothofagus*, después de eventos mayores de perturbación, tales como deslizamientos de tierra asociados a terremotos (Veblen & Ashton 1979; Veblen et al. 1981). También se ha estudiado la dinámica de regeneración después de perturbaciones menores, tales como la caída de árboles producida por el viento (Veblen & Donoso 1987).

En parcelas viejas, no perturbadas, de *Nothofagus* se encuentran, generalmente, grandes árboles y escasean los de menor diámetro. En cambio, en los deslizamientos de tierra en la Cordillera de los Andes, producto del terremoto de 1960, Veblen & Ashton (1979) observaron una gran abundancia de plántulas de *Nothofagus*. Se ha visto que *N. obliqua* coloniza rápidamente sitios alterados por deslizamientos en altitudes bajas (junto a *Eucryphia cordifolia* Cav. y *Weinmannia trichosperma* Cav.). En altitudes medias, *N. alpina* y *N. dombeyi* demuestran capacidad colonizadora en estos sitios.

Según Veblen et al. (1981), el crecimiento de plántulas de *N. dombeyi*, en bosques no alterados, es inhibido por *Chusquea culeou* Desv. y *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde. *Nothofagus dombeyi* depende para su regeneración de la floración y muerte simultánea de *Chusquea*, a menos que se produzcan perturbaciones por causas exteriores, tales como la producción de claros por árboles derribados por el viento, o a mayor escala, por deslizamientos de tierra y otros eventos asociados a terremotos y erupciones volcánicas (Whitmore 1982, Veblen et al. 1981).

Donde se producen grandes claros, por golpes de viento, deslizamientos de tierra o depósitos de cenizas volcánicas, se observa regeneración masiva por parte de *N. dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* (Veblen & Donoso 1987). Según estos autores, a pesar de que *N. alpina* se desarrolla con preferencia en grandes claros, esta especie tiene más capacidad que *N. dombeyi* para establecerse también en claros de menor superficie.

En el límite del crecimiento vegetacional, en la Cordillera de los Andes de la Región de los Lagos, *N. antarctica* coloniza sitios donde se han producido aluviones y depósitos de escoria. Cuando estos sitios se han estabilizado, *N. pumilio* se introduce en ellos. A altitudes más bajas, se encuentran bosques puros de *N. pumilio*, que consisten de parcelas coetáneas originadas generalmente por deslizamientos de nieve (Veblen & Donoso 1987, Veblen et al. 1981). Según estos autores, a altitudes más bajas todavía, hay bosques mixtos de *N. pumilio* con *N. dombeyi*, que se encuentran sobre antiguos depósitos de material de origen volcánico. Aquí también se observaría regeneración en los claros producidos por la caída de árboles viejos, aprovechados sobre todo por *N. pumilio*, ya que *N. dombeyi* aparentemente es menos tolerante a la sombra. Whitmore (1982) sugiere que existe un continuo de respuestas frente a eventos de perturbación a menor o mayor escala en los árboles dominantes en bosques chilenos, con *Aextoxicon punctatum* R. et P. como especie muy tolerante a la sombra en un extremo del espectro y *N. obliqua* en el otro. Whitmore (1982) sitúa la dinámica regenerativa de *Nothofagus* dentro del modelo del "gap phase replacement" (regeneración por fases dentro de claros) de Watt (1947), quien postula un patrón de sucesión cíclica, dependiente sobre la abertura de claros en la vegetación, donde se producirían los procesos de regeneración.

En general, se puede sostener que especies de *Nothofagus* poseen una alta capacidad colonizadora de sitios inestables y que su regeneración frecuentemente está ligada a perturbaciones menores o mayores. En el caso de los claros de menor diámetro, especies más tolerantes a la sombra tienen capacidad más alta para regenerarse en ellos. Especies menos tolerantes a la sombra mantienen sus parcelas coetáneas, que son resultados de la colonización de grandes claros dejados por perturbaciones a mayor escala. Las parcelas coetáneas son susceptibles a caer enteras, cuando se produce otro evento de perturbación mayor, formando así un claro apto para la regeneración de una futura parcela coetánea de especies intolerantes a la sombra. Esta dinámica regenerativa se puede interpretar como adaptación frente a perturbaciones naturales.

Por otro lado, existe una relación entre sitios perturbados y la ocurrencia de híbridos. Muchos de los hábitats donde efectivamente se ha observado la ocurrencia de hibridación entre especies de *Nothofagus*, coinciden con la definición de "habitat de híbridos" de Anderson (Donoso & Atienzo 1983).

Además, en poblaciones marginales, en el extremo del rango de distribución de una especie, se producen presiones de selección muy altas. En especies

pioneras se observa una alta incidencia de polimorfismo, interpretada por Stern & Roche (1974) como un fenómeno adaptativo. La variabilidad y el polimorfismo es evidente en el género **Nothofagus**, por lo tanto, se puede interpretar en parte como resultado de adaptaciones a situaciones de perturbación natural, las que significarían presiones fuertes de selección y generarían poblaciones marginadas. En poblaciones marginales y aisladas se producen además efectos como la deriva genética aleatoria (Stern & Roche 1974; Harris 1984). Por lo anterior, se concluye que la perturbación natural juega un rol probablemente muy importante en el desarrollo del patrón evolutivo en el género **Nothofagus**.

CONCLUSIONES

La distribución actual de **Nothofagus** en Chile está relacionada a eventos del pasado. Se pueden reconocer, en la historia biológica del género **Nothofagus**, algunos rasgos que se mantienen en el tiempo hasta hoy, como la estrecha relación de la distribución pasada y actual con gradientes climáticos marcados por bajas temperaturas, así como la importancia de perturbaciones naturales mayores en los sitios ocupados por representantes del género. La variabilidad actual presente en las especies del género, tanto intra como interpoblacional, parece corresponder a adaptaciones a un gradiente ambiental complejo, marcado de manera decisiva por el frío, y modificado de manera puntual por perturbaciones locales a mayor o menor escala.

Aquí se propone, además, que las variaciones clinales o continuas observadas tendrían más relación con el gradiente climático y responderían a presiones selectivas ejercidas por éste, mientras que las variaciones discontinuas entre poblaciones pueden haber sido causadas por efectos aisladores o marginadores producidos por eventos de perturbación. En el primer caso, la selección promovería la diversidad en un medio estable, determinado casi exclusivamente por factores climáticos con cierta predictabilidad, mientras que en el segundo caso se produciría una selección direccional, con pérdida y fijación de alelos, a nivel local, en un ambiente inestable caracterizado por eventos de perturbación que se producen a intervalos impredecibles en el tiempo.

Para examinar esta propuesta, será necesario efectuar estudios comparativos de las características de poblaciones de una especie de **Nothofagus** ubicadas en la Cordillera de la Costa, considerada como medio

más estable, con poblaciones de la Cordillera de los Andes, que representa el medio más perturbado. Se tendrían que encontrar entonces patrones de variación clinal en la Cordillera de la Costa y patrones de variación discontinuo entre las poblaciones de la Cordillera de los Andes.

Adaptaciones locales a gradientes ambientales, basadas en polimorfismo genético, se observan en muchas especies arbóreas (Harris et al. 1984; Stern & Roche 1974), y es probable que la variabilidad observada en las especies de *Nothofagus* también sea basada en polimorfismo genético. Esta variabilidad intraespecífica tiene que ser considerada como componente de la diversidad biológica y la variabilidad genética, entre y dentro de poblaciones, es importante para la flexibilidad adaptativa y la evolución futura de los taxa (Harris et al. 1984).

En cuanto a la conservación del género *Nothofagus* en Chile, por deducción, sería importante mantener el mayor número posible de genotipos de cada especie a lo largo de los gradientes climáticos y geográficos presentes en Chile, y no sólo los ejemplares concentrados en áreas de protección geográficamente muy distantes, ya que ellos no pueden representar la amplitud de la diversidad biológica de las especies de *Nothofagus*. En consecuencia, parece más adecuado crear múltiples áreas pequeñas de protección, cuyo límite de tamaño inferior dependería de los requerimientos de los taxa a proteger (Järvinen 1981), así como de los recursos genéticos de las poblaciones. Para determinar el tamaño mínimo de áreas de protección, será muy importante efectuar a futuro estudios en el campo de la genética de poblaciones en el género *Nothofagus*.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Eduardo Ugarte M., Profesor del Departamento de Botánica de la Universidad de Concepción, por sugerencias y críticas al manuscrito del presente estudio.

BIBLIOGRAFIA

- Alberdi, M. 1987. Ecofisiología de Especies Chilenas del Género *Nothofagus*. Bosque 8 (2): 77-84.
- Alberdi, M., Meza-Basso, L., Fernández, J., Cristi, R. & Romero, M. 1991. Lipid Composition of Chloroplasts from Cold-acclimated and Non-acclimated *Nothofagus dombeyi*. Phytochemistry 30 (3): 763-768.
- Benoit, I.L. (Ed.) 1989. Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (Primera Parte). 157 pp. CONAF, Santiago de Chile.
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. 1262 pp. Columbia University Press, New York.
- Donoso, C. 1979. Genecological Differentiation in *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. in Chile. Forest Ecol. and Manag. 2:53-66.
- Donoso, C. 1987. Variación Natural en Especies de *Nothofagus* en Chile. Bosque 8 (2): 85-97.
- Donoso, C. & Atienza, J. 1983. Hibridación Natural entre Especies de *Nothofagus* Siempreverdes en Chile. Bosque 5: 21-34.
- Donoso, C. & Landrum, L.R. 1979. *Nothofagus leoni* Espinosa, a Natural Hybrid between *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. and *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. New Zealand J. Bot. 17: 353-360.
- Fuenzalida, H. 1965. Biogeografía. In: Geografía Económica de Chile. CORFO, Santiago de Chile.
- Gajardo, R. 1983. Sistema Básico de Clasificación de la Vegetación Nativa Chilena. 315 pp. CONAF, Santiago de Chile.
- Harris, L.D. (Ed.) 1984. The Fragmented Forest. Island Biogeography and the Preservation of Biotic Diversity. 211 pp. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Harris, L.D., Mc Glothlen, M.E. & Manlove, M.N. 1984. Genetic Resources and Biotic Diversity. In: Harris, L.D. (Ed.). The Fragmented Forest. Island Biogeography and the Preservation of Biotic Diversity. pp. 93-107. The University of Chicago Press, Chicago and London.

- Hill, R.S. 1991. Tertiary *Nothofagus* (Fagaceae) Macrofossils from Tasmania and Antarctica and their Bearing on the Evolution of the Genus. Bot. J. Linn. Soc. 105: 73-112.
- Hill, R.S. & Read, J. 1991. A Revised Infrageneric Classification of *Nothofagus* (Fagaceae). Bot. J. Linn. Soc. 105: 37-72.
- Heusser, C.T. 1964. Some Pollen Profiles from the Laguna San Rafael Area, Chile. American Geographic Society, New York.
- Heywood, V.H., Moore, D.M. & Stearn, W.T. (Eds.) 1982. Blütenpflanzen der Welt. Birkhäuser Verlag, Stuttgart. 336 pp.
- Järvinen, O. 1982. Conservation of Endangered Plant Species: Single Large or Several Small Reserves? Oikos 38: 301-307.
- Martcorena, C. & Quezada, M. 1985. Catálogo de la Flora Vascular de Chile. Gayana, Bot. 42 (1-2): 1-157.
- Meza-Basso, L., Guarda, P., Ríos, D. & Alberdi, M. 1986. Changes in Free Amino Acid Content and Frost Resistance in *Nothofagus dombeyi* Leaves. Phytochemistry 25 (5): 1843-46.
- Morales, J., Donoso, C. & Romero, M. 1986. Hibridación Natural entre *Nothofagus obliqua* y *N. alpina*. In: Resúmenes Simposio Biología del género *Nothofagus*. VI Reunión de Botánica. Sección Botánica Sociedad de Biología de Chile.
- Muñoz, M. 1980. Flora del Parque Nacional Puyehue. Ed. Univ. S.A., Santiago de Chile. 557 pp.
- Ormazábal, C. & Benoit, I. 1986. El Estado de Conservación del Género *Nothofagus* en Chile. CONAF, Santiago de Chile.
- Ordóñez, A.E. 1986. Germinación de las Tres Especies de *Nothofagus* Siempreverdes y Variabilidad en la Germinación de Procedencias de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile. 144pp.
- Philipson, W.R. & Philipson, M.N. 1988. A Classification of the Genus *Nothofagus* (Fagaceae). Bot. J. Linn. Soc. 98: 27-36.
- Ramírez, C. 1987. El Género *Nothofagus* y su Importancia en Chile. Bosque 8(2): 71-76.

Ramírez, C., Correa, M. Figueroa, H. & San Martín, J. 1985. Variación del Hábitat y Hábitat de *Nothofagus antarctica* en el Centro Sur de Chile. *Bosque* 6: 55-73.

Rodríguez, R., Matthei, O. & Quezada, M. 1983. Flora Arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción, Chile. 408 pp.

Romero, E.J. 1984. Historia y Evolución de *Nothofagus* (Fagaceae) y Consideraciones sobre el Origen de otras Familias Relacionadas.

Actas del III Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. pp. 209-216. Corrientes, Argentina.

Romero, E.J. 1988. Fossil Evidence Regarding the Evolution of *Nothofagus* Blume. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 73: 289-308.

Rothhammer, F. 1984. ¿Evolución Gradual o Revolución Genética? *Revista Chilena de Historia Natural* 57: 5-7.

Sakai, A. & Larcher, W. 1987. Frost Survival of Plants. *Ecological Studies* 62: 1-321. Springer-Verlag, Berlin. 200 figs.

Schmithüsen, J. 1956. Die Räumliche Ordnung der Chilenischen Vegetation. *Bonner Geogr. Abh.* 17: 1-89.

Simpson, B. 1979. Quaternary Biogeography of the High Montane Regions of South America. *Monogr. Amer. Mus. Nat. Hist.* 7: 157- 188.

Steenis, C.G.G.J. Van 1953. Results of the Archbold Expeditions; Papuan *Nothofagus*. *J. Arnold Arbor.* 84 (4): 301-374.

Steenis, C.G.G.J. Van 1971. *Nothofagus*, Key Genus of Plant Geography, in Time and Space, Living and Fossil, Ecology and Filogeny. *Blumea* 1 (19): 65-98.

Stern, K. & Roche, L. 1974. Genetics of Forest Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. 330 pp., 70 figs.

Veblen, T.T. & Ashton, D.H. 1978. Catastrophic Influences on the Vegetation of the Valdivian Andes, Chile. *Vegetation* 36(3): 149- 167.

Veblen, T.T. & Donoso, C. 1987. Alteración Natural y Dinámica Regenerativa de las Especies Chilenas de *Nothofagus* de la Región de los Lagos. *Bosque* 8(2): 133-142.

Veblen, T.T., Donoso, C., Schlegel, F.M. & Escobar, B. 1981. Forest Dynamics in

South-central Chile. *J. Biogeography* 8: 211- 247.

Watt, A.S. 1947. Pattern and Process in the Plant Community.

J. Ecol. 35: 1-22.

Weaver, J.E. & Clements, F.E. 1944. *Ecología Vegetal*. (Trad. por A.L. Cabrera). ACME Agency, Buenos Aires. 667 pp.

White, P.S. 1979. Pattern, Process and Natural Disturbance in Vegetation. *Bot. Rev.* (Lancaster) 45 (3): 229-299.

Whitmore, T.C. 1982. On Pattern and Process in Forests. In: *The Plant as a Working Mechanism* (Newmann, E.I., ed.). Special Publication Number 1 of the British Ecological Society produced as a Tribute to A.S. Watt. Blackwell, London.

Whittaker, R.H. 1967. Gradient Analysis of Vegetation. *Biol. Rev.* 42: 207-264.