

VOLUMEN 7 Nº2

---

CIENCIA  
E  
INVESTIGACION  
FORESTAL

---

DICIEMBRE 1993



**INFOR**

INSTITUTO FORESTAL - FILIAL CORFO  
CHILE



ISSN 0716 - 5994

VOLUMEN 7 N° 2

**CIENCIA  
E  
INVESTIGACION  
FORESTAL**

DICIEMBRE 1993

Propiedad Intelectual  
Registro N° 91.037

**INSTITUTO FORESTAL - FILIAL CORFO  
CHILE**



**CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL, es una revista  
técnico-científica del Instituto Forestal  
(Filial CORFO), que se publica en  
Junio y Diciembre de cada año.  
ISSN 0716 - 5994**

- Director** : Tomás Balaguer Q.
- Editor** : Santiago Barros A.
- Consejo Editor** : José Antonio Prado D. Rolando Bennewitz B.  
Ignacio Cerda V. Hans Grosse W.  
Ronald du Belloy G.
- Editores Asociados** : René Alfaro (Canadá) Manuel Ortiz  
Ronald Brun (Alemania) Hernán Peredo  
Hernán Cortés Vicente Pérez  
Fernando Cox Roland Peters  
Roberto Delmastro Hernán Poblete  
Claudio Donoso Juan Schlatter  
Fernando Garrido Harald Schmidt  
Bertram Husch Jorge Toro  
Walter Kauman Antonio Vita  
Roberto Melo Derek Webb (Canadá)  
Ramiro Morales Roy Wotherspoon
- Dirección Postal** : Huérfanos 554 Casilla 3085. Santiago Chile.  
Fonos 6397911 - 6391363  
Fax 6381286

El valor de la suscripción anual para 1993, que consta de dos ejemplares, es de \$12.000 incluido I.V.A., de \$8.000 para estudiantes y de US \$30.00 para el extranjero incluido el franqueo. El valor de cada ejemplar es de \$8.000, de \$4.000 para estudiantes y de US \$18.00 incluido franqueo, para el extranjero. La revista no se responsabiliza por los conceptos, afirmaciones u opiniones vertidas por los autores de las contribuciones publicadas.

Se autoriza la reproducción parcial de la información contenida en la publicación, sin la previa consulta, siempre que se cite como fuente a Ciencia e Investigación Forestal (INFOR - Chile).

## CONTENIDO

### Artículos

Estudio Teórico y Experimental de Vigas de Madera de Sección Transversal Compuesta. ..... Vicente Pérez y Luis Leiva	173
Utilización de Renovales de Roble y Raulí en la Fabricación de Tableros de Partículas. ..... Miguel Peredo, Hernán Poblete y Luis Naveillán	215
Estudios sobre la Algarrobilla ( <i>Balsamocarpon brevifolium</i> ) ..... Johannes Wrann	241
Estudio de Crecimiento de Plantaciones y Renovales Manejados de Especies Nativas en el Area Andina de las Provincias de Cautín y Valdivia. ..... Pablo Donoso, Tomás Monfil, Luis Otero y Luis Barrales	253

### Apuntes

Los Sistemas Agroforestales en Venezuela: Una Alternativa para la Recuperación de Areas con Conflictos de Uso de la Tierra. .... Angel Infante	289
Energía de Fractura: Un Concepto Novedoso para Determinar la Resistencia en Vigas con Rebaje. ..... Víctor Carvalho	299
Funciones de Altura Total y Area de Copa para Lenga <i>Nothofagus pumilio</i> (Poepp. et Endl.) Krasser) en Lago General Vintter - Cerro Colorado, Provincia de Chubut - Argentina. Alcances por Clases de Exposición y Altitud. ..... C. Fernández, G. Martínez, F. Boyeras y P. Peri	313
Una Metodología Simple para el Dimensionamiento de Parcelas de Escorrentia ..... Sandra Perret	339

## CONTENIDO

### Apuntes

El Género <b>Nothofagus</b> Blume en Chile, Algunas Implicaciones de su Diversidad Biológica. ..... Claudia Polyméris	359
Algunos Antecedentes sobre Propagación de <b>Nothofagus</b> . ..... Marisol Muñoz	377

### Notas Bibliograficas

Precios de Productos Forestales Chilenos .....	391
Boletín de Precios Forestales.....	391

### Reglamento de Publicación

Estructura de los Trabajos.....	393
Presentación de los Trabajos .....	395
Envío de los Trabajos .....	398

# ESTUDIO TEORICO Y EXPERIMENTAL DE VIGAS DE MADERA DE SECCION TRANSVERSAL COMPUESTA (\*)

Vicente Pérez Galáz (\*\*)  
Luis Leiva Araneda (\*\*\*)

## RESUMEN

*El presente artículo compara el diseño teórico que presenta la norma chilena NCh 1198 "Madera-Construcciones en Madera-Cálculo" con los datos experimentales obtenidos en el ensayo a flexión de 480 vigas con sección transversal compuesta, confeccionadas con pino radiata aserrado y clavos de fabricación nacional.*

*El objetivo del estudio es verificar si las especificaciones de la norma NCh 1198 respecto a vigas con transversales compuestas son aplicables, con confiabilidad, cuando en su fabricación se usan materiales nacionales.*

*El artículo revisa brevemente la normativa nacional respecto al tema, resume la metodología seguida en la parte experimental y entrega los resultados a través de las medias de los parámetros seleccionados.*

*Entre las conclusiones más importantes se obtuvo que la madera usada tenía un contenido de humedad promedio de 10% y una densidad referencial de 510 kg/m<sup>3</sup>. La Rigidez Efectiva Teórica resultó ser significativamente menor a la obtenida experimentalmente, lo cual asegura un trabajo elástico de las vigas y además, se observó que para una misma carga, la deformación teórica es superior a la experimental, asegurando así un diseño conservador.*

*Estos resultados están indicando que los materiales nacionales se pueden usar con seguridad, empleando las especificaciones de cálculo de la norma NCh 1198 para secciones transversales compuestas. No obstante, lo conservadora que resulta, lleva a proponer futuros estudios de métodos óptimos.*

**Palabras Clave:** Madera, Vigas, Compuestas.

(\*) Proyecto FONDECYT 92 - 0498

(\*\*) Ingeniero Civil, U. de Chile, Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Avda B. O'Higgins 3363, Santiago-Chile, 1994.

(\*\*\*) Ingeniero Civil, Master of Science, Chalmers University of Technology de Suecia, Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Avda. B. O'Higgins 3363, Santiago-Chile, 1994.

## **ABSTRACT**

*This paper deals with the design of composite beams. The theoretical deflection of these beams calculated according to the Chilean Code Timber - Construction and Design ( NCh 1198 Of. 91 ) are compared with the experimental data obtained from bending test series including 480 samples.*

*The aim of this study is to verify whether the specifications related to composite beams included in the NCh 1198 Code will lead to a safe design when using national materials. A brief overview of code recommendations on this topic is given.*

*The beams were constructed using local grown Radiata Pine and local made nails. The timber had 10 % moisture content and its density was  $510 \text{ kg/m}^3$ . The experimental testing method is described and the results are presented through average values obtained for relevant parameters.*

*The theoretical stiffness was significantly less than the obtained experimentally. Due to this fact, following code specifications will lead to a conservative design. These results indicates that national materials can be safely used when designing with the NCh 1198 Code.*

**Keywords:** *Timber, Beams, Composite.*



## INTRODUCCION

Para emplear técnicamente la madera de pino radiata se han estudiado prolijamente sus propiedades físicas y mecánicas, lográndose con ello una elevada confianza cuando se la usa como elemento estructural en piezas rectangulares simples, tales como vigas, costaneras, pie-derechos, etc. La actual norma chilena NCh 1207 (INN, 1991) : " Pino radiata-Clasificación Visual para uso Estructural-Especificaciones de los Grados de Calidad", permite separar piezas según su resistencia y asignarle, confiablemente, una carga que esté de acuerdo con sus dimensiones. Un nutrido número de ensayos ha permitido respaldar esta norma y colocar así al pino radiata como material estructural alternativo.

Sin embargo, Chile tiene un consumo per cápita de apenas 0,1 m<sup>3</sup>, mientras que en E.E.U.U., Canadá y los Países Nórdicos, dicha cifra es 10 veces superior.

Una gran mayoría de los profesionales de la construcción desconoce, en alguna medida, las ventajas del uso de la madera como material estructural y debido a este desconocimiento, en Chile son muy pocos los profesionales que hacen uso de elementos compuestos de madera aserrada, tales como perfiles Te, Doble Te y otros, siendo ellos ampliamente usados en países desarrollados.

Como se dijo anteriormente, el pino radiata se ha estudiado profusamente, pero cabe destacar que la sección transversal rectangular no siempre es la más económica. Existen otras secciones transversales que permiten obtener resistencias adecuadas a la sollicitación que está actuando. Ellas se caracterizan por un menor volumen de material que las hace más económicas. Este es el caso de las secciones transversales compuestas Te, Doble Te, Cajón, etc. Para lograr estas conformaciones se usa madera aserrada o cepillada, clavando entre sí piezas rectangulares simples.

Por consiguiente, se puede apreciar la importancia de estudiar e investigar las secciones transversales compuestas, dado el desconocimiento de su diseño y el comportamiento que tienen frente a las sollicitaciones que actúan sobre la pieza en cuestión.

La norma chilena NCh 1198 (INN, 1991 a) "Madera-Construcciones en Madera-Cálculo" entrega un procedimiento de diseño estructural que es el especificado en la norma alemana DIN 1052 (González, 1989), para las secciones transversales compuestas. Pero no existen ensayos que lo ratifiquen para los materiales nacionales (madera y clavos). Podría suceder que éstos proporcionen diseños que difieran del entregado por el procedimiento teórico establecido en la norma NCh 1198.

Para el caso de vigas de madera con secciones transversales compuestas aparece un nuevo parámetro de variabilidad: el elemento de unión. Al definir el clavo de fabricación nacional se hace imprescindible la verificación experimental para determinar la aproximación de la expresión teórica que entrega la Norma NCh 1198, con la realidad. Las características de estos clavos, la densidad de la madera de pino radiata crecida en Chile, la presencia de nudos y de otras características reductoras de la resistencia de la madera, pueden distorsionar los planteamientos teóricos y provocar un divorcio entre la teoría y la experimentación. En tal caso será necesario corregir la Norma, variando el procedimiento teórico entregado por ella, para lograr que el diseño estructural sea consecuente con los ensayos obtenidos en los ensayos.

La presente investigación tiene como objetivo general realizar el estudio teórico y comparar con el comportamiento experimental de las vigas de madera con secciones transversales compuestas, tipo Te, Doble Te y Cajón, materializadas a través de la unión clavada de piezas simples de madera aserrada, usando materiales nacionales.

## TEORIA FUNDAMENTAL

Se entrega, a continuación un análisis de la teoría de la ligazón elástica, con el objeto de establecer los conceptos básicos en que se fundamenta la teoría de Karl Mohler para este tipo de secciones transversales.

## **Tipos de Ligazón**

En elementos de madera con sección transversal compuesta, el desarrollo de los esfuerzos internos en las distintas piezas constituyentes, depende de la flexibilidad de los medios de unión utilizados para unir las piezas que conforman la sección en sí. De esta manera se pueden considerar los siguientes casos :

### **- Ligazón Rígida.**

Al flectarse una viga compuesta con ligazón rígida (adhesivo) entre sus componentes, no se producen corrimientos relativos entre puntos de borde correspondientes, ubicados en las superficies de contacto pertenecientes a las partes individuales. En este caso el diseño puede realizarse considerando la viga como si fuera de sección transversal homogénea, aceptando una sección igual a la suma de las secciones transversales individuales y aplicando la teoría clásica de flexión.

### **- Apoyo Simple.**

Este caso corresponde a la disposición de dos o más piezas adosadas por simple apoyo, no existiendo ligazón alguna entre las mismas, excepto el roce natural. Aquí, pese a que las áreas totales serán iguales a la suma de las áreas individuales, en las inercias serán efectivas, únicamente, las de las piezas individuales, desapareciendo el efecto inercial conjunto caracterizado por el sumando de Steiner. Esto debido a los corrimientos no controlados que se producen entre las piezas individuales.

### **- Ligazón Elástica.**

La situación intermedia, que es precisamente la que se trata en este estudio,

corresponde a la llamada "Ligazón Elástica" en la que al deflectarse la viga se producen corrimientos relativos entre las piezas, los que debido al efecto de los medios mecánicos de unión se ubican en una situación intermedia entre los casos anteriormente señalados. La aparición de estos corrimientos produce una distribución de esfuerzos internos en las piezas individuales que difiere considerablemente de la correspondiente a una ligazón rígida para una misma sección transversal.

## Fundamentos de la Teoría de Ligazón Elástica

La teoría de ligazón elástica, que fue propuesta por R. Heiling en 1953, se basa en que : "Todo elemento de unión mecánico dispuesto discretamente en la superficie de contacto de las piezas constituyentes, le imprime a dicha superficie una determinada característica de rigidez que condicionará la magnitud de los corrimientos producidos. La distribución de los medios de unión debe ser tal que garantice, para cada uno de dichos elementos, un trabajo en la zona elástica".

## Especificaciones de la Normativa Chilena

### - Antecedentes Generales

El desarrollo del análisis teórico realizado por el investigador Karl Mohler, basado en la teoría de ligazón elástica, ha sido expuesto en diferentes publicaciones nacionales (Wagner, 1979; Aceitón y Fernández, 1992; Vallejos y Venegas, 1993), por tal motivo no se repetirá en éste trabajo y solo se resumirá el resultado de tal análisis para las cuatro secciones transversales compuestas que se incluyen en la norma NCh 1198 y en el presente trabajo.

La actual norma chilena NCh 1198 " Madera -Construcciones en madera - Cálculo ", fue declarada Oficial de la República en el segundo semestre de 1991. Esta se estudió para actualizar las especificaciones de la norma NCh 1198 EOf 77 e incorporar materias que no estaban incluidas en ella; por lo tanto, la norma actualmente vigente anula y reemplaza a la NCh 1198 EOf 77.

En ella, además, se establecen los métodos y procedimientos de diseño estructural que determinan las condiciones mínimas que deben cumplir los elementos y las uniones en las construcciones de madera aserrada, elaborada, laminada -encolada y postes de madera. Ella se aplica sobre la estructura de edificaciones corrientes de madera, en construcciones mixtas, andamiajes, moldajes, postes de madera, etc.

### Especificaciones sobre Flexión Uniaxial en Vigas Compuestas

El Capítulo 8 de la norma NCh 1198, titulado " Dimensionamiento de Piezas Estructurales de Madera Aserrada ", en el párrafo 8.2.5 denominado " Flexión Uniaxial en Vigas Compuestas", contiene las especificaciones para proceder con el diseño de las vigas de sección transversal compuesta.

A continuación se procede con un análisis de los alcances de dicho párrafo.

- En el ítem 8.2.5.1 se establece :

" En la verificación tensional de piezas flexionadas de sección transversal compuesta, constituidas por elementos conectados entre sí en forma flexible ( con clavos, pernos, conectores, etc.) debe considerarse, cuando resulte procedente, la flexibilidad de los medios de unión. "

- En el ítem 8.2.5.2 se establece :

" Para piezas de sección transversal compuesta con simetría simple ( Figura N°1), las tensiones se deben evaluar de acuerdo con lo siguiente :

$$f_{f,i} = \frac{M}{I_{ef}} * \left\{ \gamma_i * a_i * \frac{A_i}{A_{in}} + \frac{h_i}{2} * \frac{l_i}{I_{ef}} \right\} * n_i * 10^6$$

$$f_{g,i} = \frac{M}{I_{ef}} * \gamma_i * a_i * \frac{A_i}{A_{in}} * n_i * 10^6$$

(con  $i = 1, 2$  y  $3$ )



Los términos definidos tienen el siguiente significado :

- M** = Momento flector, considerado de signo positivo, cuando induce solicitaciones de compresión en las fibras extremas del ala superior y de tracción en las fibras extremas del ala inferior,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ .
- ff, i** = Tensión de trabajo en flexión, en el borde de las piezas individuales ( alas o almas ), considerándose el signo de acuerdo con lo esquematizado en la Figura N°1, MPa.
- fg, i** = Tensión de trabajo en el centroide de las piezas individuales (alas o almas), considerándose el signo de acuerdo con lo esquematizado en la figura 1, MPa.
- ai** = Distancia entre los ejes de gravedad principales de las secciones transversales no debilitadas y el eje neutro de flexión condicionante del diseño, Y -Y, ( mm ).

La aplicación de las expresiones anteriores exige que :

$$0 < a_2 < 0,5 * h_2$$

- hi** = Espesores o alturas de las secciones transversales individuales (mm).
- yi** = Factores de reducción para el cálculo de  $I_{ef}$ .
- li, lin** = Momento de inercia de las seccion transversal individual no debilitada y debilitada, respectivamente ( $\text{mm}^4$ ).

$$I_i = b_i * h_i^3 / 12$$

- Ai, Ain** = Sección transversal no debilitada y debilitada de las piezas individuales, respectivamente ( $\text{mm}^2$ ).

$$A_i = b_i * h_i$$

- I<sub>ef</sub>** = Momento de inercia eficaz de la sección transversal no debilitada ( $\text{mm}^4$ ).

- bi** = Espesores de las secciones transversales individuales (mm).

$E_i$	=	Módulo de elasticidad de las piezas individuales componentes de la sección transversal compuesta, MPa.
$E_r$	=	Módulo de elasticidad referencial, elegido arbitrariamente, MPa.
$n_i$	=	$E_i/E_r$ .

Agrega el ítem 8.2.5.2 : " Si no se desea realizar el cálculo exacto, los momentos de inercia de las secciones transversales individuales debilitadas,  $I_{xi}$ , pueden referirse a los ejes principales de los componentes de sección transversal no debilitadas. En vigas clavadas el cociente entre las propiedades estáticas de la sección transversal bruta y de la sección transversal debilitada puede considerarse igual a la unidad, siempre que el clavado no se realice con perforación guía. "

Por otra parte, el presente trabajo contempla, en su parte experimental, la utilización de pino radiata unido con clavos para la confección de vigas de sección transversal compuesta. Debido a la baja densidad de este tipo de madera no se hace necesaria la perforación guía en el clavado y por lo tanto, de acuerdo a lo estipulado en el párrafo anterior, se considera que la razón entre las propiedades estáticas es equivalente a la unidad.

De esta manera las tensiones de trabajo descritas para piezas de sección transversal compuesta con simetría simple quedan :

$$f_{f,i} = \frac{M}{I_{ef}} * \left\{ \gamma_i * a_i + \frac{h_i}{2} \right\} * n_i * 10^6$$

$$f_{g,i} = \frac{M}{I_{ef}} * \gamma_i * a_i * n_i * 10^6$$

(con  $i = 1, 2$  y  $3$ )

Las diferentes secciones transversales incluidas en la norma NCh 1198

quedan identificadas por ésta según se indica en la Figura N°1.

Las dimensiones están en mm y corresponden a las vigas utilizadas en la parte experimental de este estudio.

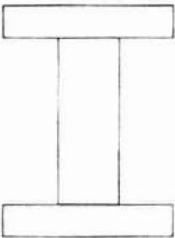
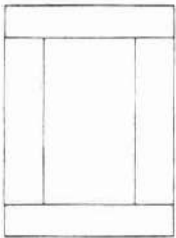
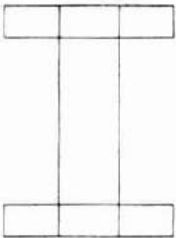
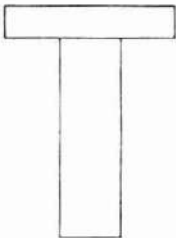
VIGA TIPO 1	VIGA TIPO 2	VIGA TIPO 3	VIGA TIPO 4
			
Ala : 38*150 Alma: 50*150	Ala : 50*100 Alma: 25*200	Ala : 50*50 Alma: 50*200	Ala : 38*150 Alma: 50*200

Figura N° 1. TIPOS DE VIGAS COMPUESTAS NORMALIZADAS.

Finalmente, los ítemes 8.2.5.3 y 8.2.5.4, de la norma NCh 1198, hacen referencia a las tensiones de trabajo :

" Las tensiones de trabajo en el borde (ff,i) no deben exceder la tensión de diseño en flexión ( Ff,dis ) calculada según el procedimiento especificado en la misma norma, en el subpárrafo 8.2.2.2 ".

$$\frac{ff,1}{Ff, dis} < 1 \quad \text{y} \quad \frac{ff,2}{Ff, dis} < 1$$



" Las tensiones de trabajo centroidales ( fg,i ) no deben exceder la tensión de diseño en tracción o compresión paralela según sea la naturaleza de la sollicitación a la cual está sometida la pieza i".

$$\frac{fg,1}{Ftp,dis} < 1 \quad y \quad \frac{fg,2}{Ftp,dis} < 1 \quad y/o$$

$$\frac{fg,1}{Fcp,dis} < 1 \quad y \quad \frac{fg,2}{Fcp,dis} < 1$$

En donde: Ftp, dis : Tensión de diseño en tracción.  
Fcp, dis: Tensión de diseño en compresión paralela.

En el cálculo de los medios de unión, se debe considerar para el diseño el flujo de cizalle eficaz máximo, tcz, ef, i que se genera sobre cada junta de contacto entre los componentes de la sección transversal compuesta. Este se calcula considerando el momento de inercia eficaz, Ief , y la expresión siguiente :

$$tcz, ef, i = \frac{Q \text{ máx. } (x)}{I_{ef}} * ( \gamma * n1 * S1 ) \quad [kN/mm]$$

El espaciamento promedio mínimo requerido entre los elementos de unión, sreq,i , queda dado por la expresión :

$$sreq. = \frac{N1, dis}{tcz, ef}$$

con :N1,dis = Capacidad de carga de diseño en una superficie de cizalle del elemento de unión, en kN.

La deducción completa y detallada de las fórmulas incluidas en éste párrafo se puede encontrar en Wagner, 1979; Aceitón y Fernández, 1992 y Vallejos y Venegas, 1993.



## METODOLOGIA DE EXPERIMENTACION.

### Antecedentes

Luego de revisar el análisis teórico del comportamiento de las vigas con secciones transversales, con simetría respecto a los dos ejes principales de inercia, y con el propósito de realizar una comparación entre el método teórico incluido en la norma chilena NCh 1198 y los resultados que se obtengan experimentalmente al ensayar probetas conformadas con materiales nacionales, es necesario implementar y ejecutar una fase experimental, en la cual se debe dejar claro cuales son los parámetros que se consideran para su posterior análisis. Entre éstos se encuentran : Tipo de sección, espaciamiento entre clavos, luz de ensayo de la probeta, número de repeticiones, etc.

### Características de las Probetas

Las secciones compuestas que se incluyen en el presente trabajo son :

- a) Las tres con doble simetría respecto a los ejes principales de inercia : vigas doble te con tres y cinco piezas y la viga cajón.
- b) Viga con simetría simple ( viga te ).

Las vigas se materializaron mediante la unión con clavos y piezas simples de madera aserrada de pino radiata. La unión con clavos se realizó con una disposición en hilera.

Se debe destacar que los ensayos se deben efectuar con madera seca, es decir, con un contenido de humedad menor al 15 %, dado que la norma establece que pino radiata y el alamo deben ser utilizados en estado seco, debido a la facilidad de obtener humedades bajas en corto tiempo.

Los ensayos de las vigas se realizaron teniendo en cuenta los siguientes casos :

**Sección doble-te de tres piezas: VIGA TIPO 1**

- Ala	:	38 *150 mm
- Alma	:	50 * 150 mm
- Espaciamiento de clavos	:	e = 10 cm e = 20 cm
- Luz	:	400 cm

**Sección cajón de cuatro piezas: VIGAS TIPO 2**

- Ala	:	50 *100 mm
- Alma	:	2 (25 * 200) mm
- Espaciamiento de clavos	:	e = 10 cm e = 20 cm
- Luz	:	400 cm

**Sección doble-te de cinco piezas: VIGAS TIPO 3**

- Ala	:	2 (50 *50) mm
- Alma	:	50 * 200 mm
- Espaciamiento de clavos	:	e = 10 cm e = 20 cm
- Luz	:	400 cm

**Sección te de dos piezas: VIGAS TIPO 4**

- Ala	:	38 *150 mm
- Alma	:	50 * 200 mm
- Espaciamiento de clavos	:	e = 10 cm e = 20 cm
- Luz	:	400 cm



La cantidad de vigas ensayadas es la siguiente :

- Vigas tipo 1			
Espaciamientos	=	2	(10y 20 cm)
Repeticiones	=	60	
Sub-Total	:	$2 * 60$	= 120
- Vigas tipo 2			
Espaciamientos	=		
Repeticiones	=		
Sub-Total	:	$2 * 60$	= 120
- Vigas tipo 3			
Espaciamientos	=		
Repeticiones	=		
Sub-Total	:	$2 * 60$	= 120
- Vigas tipo 4			
Espaciamientos	=		
Repeticiones	=		
Sub-Total	:	$2 * 60$	= 120
<b>TOTAL</b>	:		<b>480</b>

## Metodología de Ensayo

A continuación se describe la metodología de ensayo señalando los pasos que se siguieron desde que la madera ingresó al laboratorio hasta que las probetas confeccionadas fueron ensayadas hasta la ruptura.

**Determinación de las Características Físicas de Cada Pieza.** Una vez que las piezas de madera ingresaron al laboratorio se procedió a separarlas y numerarlas según escuadría, para luego medir con mayor precisión las dimensiones reales que cada pieza tenía, utilizando el pie de metro. Estas medidas permitieron conocer el volumen de cada pieza y luego, al pesarlas, encontrar su densidad referencial.

Luego, se midió el contenido de humedad con xilohigrómetro con el objeto

de verificar su estado, ya que se requiere que éstas estén en estado seco.

#### Determinación del Módulo de Elasticidad de Cada Pieza.

Para fabricar las vigas se requiere conocer el Módulo de Elasticidad de las piezas que las conforman. La norma NCh 2149 establece un método de ensayo no destructivo para clasificar estructuralmente la madera aserrada. El método permite encontrar el Módulo de Elasticidad en flexión de la pieza, cuando la solicitación se aplica sobre una cara de ella. La pieza de madera aserrada es sometida a flexión, apoyada en sus extremos, aplicando una carga conocida en el centro de la luz de manera tal que no se produzcan tensiones de flexión superiores a 2,6 MPa. Este procedimiento se realiza por ambas caras o cantos, según corresponda.

Con el objeto de medir las deformaciones que se producen en el centro de la luz, se instala un medidor de deformación sobre un gramil con base magnética. Luego, con los datos así obtenidos se obtiene el módulo de elasticidad de la pieza, a través de la siguiente expresión :

$$E_f = \frac{P * L^3}{4 * b * h^3 * \delta}$$

En que :	$E_f$	=	Módulo de elasticidad en flexión, MPa.
	$L$	=	Luz de la viga (mm).
	$b$	=	Ancho de la viga (mm). (1)
	$h$	=	Altura de la viga (mm).
	$P$	=	Carga aplicada (N).
	$\delta$	=	Deformación leída para la carga P (mm).

#### Construcción de las Probetas.

Para conformar las probetas a ensayar, se hizo una clasificación estructural de cada pieza a fin de determinar su grado, según lo estipulado en la NCh 1198. En ésta norma se especifica que el pino radiata se puede clasificar dentro

de cuatro Grados Estructurales, dependiendo del módulo de elasticidad obtenido en la pieza, de acuerdo al Cuadro N°1 :

- (1) : El ancho a considerar dependerá si la pieza a ensayar formará parte del Alma o del Ala de la sección transversal compuesta que conforma. Es decir, en el caso de que ella sea alma la pieza se cargará en su canto. Si ella constituirá ala, la carga se aplica en la cara.

Cuadro N° 1

GRADOS ESTRUCTURALES PARA PINO RADIATA

GRADO	$E_f$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
GS	$105.000 < E_f$
G1	$90.000 < E_f < 105.000$
G2	$70.000 < E_f < 90.000$
R	$E_f < 70.000$

De acuerdo a esta clasificación, se conforman las vigas de manera tal que las piezas destinadas a las alas pertenezcan a un mismo grado estructural. Igual criterio se aplica para las piezas que constituirán el alma cuando ellas son más de una. Este procedimiento se aplica para acercarse de la mejor manera posible a la realidad, en la que un calculista asigna el módulo de elasticidad de acuerdo a su grado estructural. Además, el análisis teórico expuesto en los párrafos anteriores requiere que los módulos de elasticidad de las piezas que se utilizarán como alas y almas, sean similares.

En el caso de la sección transversal compuesta Tipo 4 (sección Te), el ala y el alma se escogen en forma aleatoria.

### Ensayo de Flexión.

Este ensayo consiste en medir la deformación que se produce en el centro de la luz de una viga, para distintas cargas aplicadas, en el punto donde se está

aplicando. La carga es ejercida mediante la bomba hidráulica manual que es conectada a un gato hidráulico que actúa como carga puntual en el centro de la luz.

Para medir la deformación se instaló un dial en la fibra neutra del alma, bajo el punto de aplicación de la carga.

Para la lectura de la carga y la deformación se ocupa un sistema computacional a través del uso de un programa denominado Labtech, con el cual es posible recibir señales eléctricas que son leídas por el computador y archivadas en forma inmediata.

Para medir la carga se instala una celda de carga en el gato hidráulico de manera tal que al ser aplicada ésta, envíe una señal ( en milivolts ) al computador. Para la deformación, el sistema consiste en una vaina hueca por la cual se desliza una varilla metálica que al descender genera una diferencia de potencial ( volts ), que también es leída por el computador.

Para facilitar el trabajo, es posible transformar las unidades eléctricas obtenidas, en unidades de carga y deformación, por ejemplo: Kg-f y mm, usando un factor de escala entregado junto con el programa computacional. De esta manera los datos que se archivan quedan en Kg-f y mm.

Finalmente, con los datos obtenidos en esta fase es posible calcular la rigidez experimental, la carga de ruptura y la carga en el límite de proporcionalidad de cada probeta, lo que permite su posterior análisis y comparación con los resultados teóricos.

La expresión que permite encontrar la rigidez experimental se deduce de la ecuación de la elástica de una viga simplemente apoyada, resultando :

$$(EI)_{\text{exp}} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta}$$

$$\text{Si se acepta que: } m = \frac{P}{\delta} = \text{tg } \alpha$$

Esta expresión señala la inclinación de la recta de la zona elástica de la viga la que se puede obtener mediante una regresión lineal de los datos carga -

deformación y que se identifica como aquella que entrega el mayor coeficiente de correlación.

Luego, la expresión de la rigidez experimental queda como :

$$(EI)_{\text{exp}} = M \cdot \frac{L^3}{48}$$

El primer paso que se lleva a cabo consiste en montar la probeta, instalar el dial en la fibra neutra y aplicar una carga inicial para darle estabilidad a ésta.

Dado que en el tiempo cero existe una deformación y una carga inicial, es necesario calibrar el computador con estos valores. La conexión del dial de deformación y la celda de carga al computador se realiza a través de una interfase.

Después de instalada la viga el programa computacional requiere de ciertos parámetros concernientes al formato de presentación y captación de datos. Es decir, se ingresa la duración del ensayo, la frecuencia con que el computador lee un dato, los canales abiertos para la entrada de información, el nombre del archivo en el que se guardarán los datos y los valores iniciales de carga y deformación.

Con los datos así ingresados en la pantalla y al hacer correr el programa, éste muestra dos gráficos : Carga - Tiempo ( en la parte inferior ) y Deformación - Tiempo ( en la parte superior ). Paralelamente se está generando un archivo, que como ya se explicó, tiene un formato numérico que puede ser leído en una pantalla electrónica.



## Nomenclatura

Para identificar los distintos tipos de secciones transversales compuestas y el espaciamiento usado entre clavos se adoptó la siguiente convención :

Probeta : V i - j - k

con:	i	=	1, 2, 3 y 4
En que :	1	=	VIGA TIPO 1
	2	=	VIGA TIPO 2
	3	=	VIGA TIPO 3
	4	=	VIGA TIPO 4
	j	=	1, 2
En que :	1	=	e = espaciamiento = 10 cm
	2	=	e = espaciamiento = 20 cm
	k	=	1, 2, 3, 4, .....60
En que :	k	=	repetición

Por ejemplo la probeta: V 3-2-40 se trata de la sección transversal compuesta Tipo 3, que tiene 20 cm de espaciamiento entre clavos y que es la repetición N° 40 del tipo y espaciamiento definido anteriormente.

## Desarrollo de la Experimentación

### Objetivos

Obtención y tabulación de los datos que entregan los ensayos de las 480 probetas contempladas en el presente estudio, con la finalidad de calcular la rigidez teórica, la rigidez efectiva experimental, la carga en el límite de

proporcionalidad y la carga de ruptura de cada viga.

### Antecedentes Preliminares

La ejecución de la fase experimental es una de las más importantes del estudio, ya que los resultados obtenidos en ella son los que determinarán si existen diferencias entre el método especificado por la norma NCh 1198 y los valores reales o experimentales, lo cual constituye, finalmente, el objetivo principal de este trabajo.

El hecho de utilizar el computador como herramienta de experimentación permite obtener una mayor cantidad de datos y, por lo tanto, analizar con mayor precisión cada ensayo.

Otro factor importante es la posibilidad de medir la deformación que se produce al momento en que la viga alcanza la ruptura, lo cual no es posible con el método anterior que implicaba el uso de un dial tradicional.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Con el fin de ordenar la información obtenida siguiendo los pasos anteriormente señalados, se entregan los resultados y observaciones según la secuencia indicada. En los casos en que la cantidad de datos es muy grande, la información se entrega a través de los estadígrafos de la población, constituida por una propiedad física, mecánica u otra propiedad.

### Características Físicas de Cada Pieza.

Tomando en cuenta que las dimensiones de cada pieza son diferentes a lo largo de ella, se tomaron dos medidas ( una en cada extremo ) y se calculó el

promedio de ellas. Luego, éstas fueron usadas para calcular las propiedades geométricas de cada pieza referidas a los ejes principales de inercia de la sección transversal compuesta. Debido a la gran cantidad de valores que se obtuvo, éstos no se incluirán en este párrafo, entregando posteriormente solo aquellas propiedades geométricas que son relevantes en la comparación entre los parámetros que se han escogido como importantes.

En segundo lugar se midió el contenido de humedad de cada pieza. Para tomar en cuenta la gradiente de humedad, esta se determinó en tres puntos de cada pieza ( en el centro y en los extremos ). El promedio de los tres valores fue asignado a cada pieza.

### **Clasificación Estructural de Cada Pieza**

Para obtener la clasificación estructural de cada pieza se hace necesario determinar el módulo de elasticidad de ella.

Para calcular el módulo de elasticidad se usó un peso de 0,765 Kg para las piezas de 38 \* 150 mm y de 50 \* 100 mm; un peso de 3,2965 Kg para las piezas de 25 \* 200 mm y un peso de 4,0615 Kg para las de 50 \* 200 mm . La diferencia entre los pesos radica en la necesidad de producir una deformación de fácil lectura en el reloj comparador ( dial ).

En los cálculos posteriores se usó el menor módulo de elasticidad determinado en la posición que tendrá la pieza en la viga, durante servicio.

### **Propiedades Resistentes de las Vigas Ensayadas**

De los gráficos obtenidos para cada probeta se determinaron las cargas en el límite de proporcionalidad y la carga de ruptura y además se calculó la rigidez teórica.



### Rigidez Experimental : ( EI ) exp.

Conocida la inclinación de la recta correspondiente a la zona elástica de la viga, en la curva carga-deformación es posible obtener la rigidez experimental.

### Propiedades Resistentes Teóricas de las Vigas

#### Propiedades Geométricas.

Para cada elemento o pieza constituyente de una viga se procedió a la medición de sus dimensiones básicas, esto es:

espesor, ancho y longitud. De esta forma, fue posible determinar las propiedades geométricas que intervienen en las ecuaciones que entregan los valores del área de la sección transversal, del momento estático, del momento de inercia y de distancias que intervienen en dichas expresiones. Al reemplazar estos valores en las fórmulas que especifica la norma NCh 1198 se obtendrán los valores teóricos, que determinaría un calculista, en base a la norma y usando las dimensiones de las vigas que posteriormente se sometieron a ensayo.

Cuando los materiales que conformaban una viga tenían diferentes módulos de elasticidad, se procedió con el método de "la sección transversal transformada", el cual toma el módulo de elasticidad del alma como módulo de referencia y afecta la dimensión horizontal de las alas multiplicándola por "n" , en que

$$n = \frac{E \text{ ala}}{E \text{ ref}} = \frac{E \text{ ala}}{E \text{ alma}}$$

De ésta manera la rigidez teórica queda definida por :

$$(E_r * I_{ef}) = \text{Rigidez teórica}$$

$$\text{con : } I_{ef} = 2 * n * I_1 + I_2 + 2 * \gamma * n * A_1 * a^2$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + k} \quad k = \frac{\pi^2 * E_1 * A_1 * \bar{e}}{L^2 * C}$$

### Propiedades Físicas

Para comprender el comportamiento que presentan las vigas de sección transversal compuesta al ser sometidas a flexión, resulta fundamental conocer, previamente, las características físicas de las probetas, ya que ellas pueden ser condicionantes de sus propiedades mecánicas.

En éste punto se estudian los resultados directos obtenidos en los ensayos, como también los que puedan ser deducidos de estos últimos, para ello se hizo uso de gráficos, cuadros con resumen de datos y elementos de estadística.

Humedad de las Vigas : El contenido de humedad de las distintas secciones está incluido en el Cuadro N°2.

Cuadro N° 2

HUMEDAD PROMEDIO DE LAS VIGAS

Tipo de Viga	Contenido de Humedad Promedio (%)
V 1-1	10,6
V 1-2	10,5
V 2-1	9,8
V 2-2	10,0
V 3-1	11,0
V 3-2	10,5
V 4-1	10,3
V 4-2	10,8

Se establece claramente una diferencia de, aproximadamente, un 1% entre los diferentes tipos de secciones transversales compuestas.

Peso de la Viga : El peso promedio de las secciones transversales compuestas en estudio, se incluye en el Cuadro N°3.

Cuadro N° 3

PESO PROMEDIO DE LAS VIGAS

Tipo de Viga	Peso Promedio (kg/m)
V 1-1	9,6
V 1-2	9,6
V 2-1	10,1
V 2-2	10,0
V 3-1	9,6
V 3-2	9,5
V 4-1	7,9
V 4-2	7,9

Obviamente la sección tipo cajón posee un mayor peso, pues es la que mayor cantidad de madera requiere para su fabricación: 0,1760 m<sup>3</sup>, contra 0,0691 m<sup>3</sup> de la viga tipo 4 y 0,08 m<sup>3</sup> de las vigas tipo V 1 y tipo V 3.

Densidad referencial de las vigas ( Pérez, 1990 ): Los promedios de las densidades referenciales que se obtuvieron experimentalmente se incluyen en el Cuadro N°4.

Cuadro N° 4

## DENSIDAD REFERENCIAL PROMEDIO DE LAS VIGAS

Tipo de Viga	Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )
V 1-1	508,6
V 1-2	505,8
V 2-1	506,6
V 2-2	502,3
V 3-1	482,4
V 3-2	474,3
V 4-1	502,6
V 4-2	504,2

Como se puede ver, esta propiedad presenta poca variación entre los tipos de vigas, existiendo una leve baja en la madera destinada a las vigas tipo V 3.

## Propiedades Mecánicas

Plím : Carga correspondiente al punto en el cual las cargas dejan de ser proporcionales a las deformaciones y que señala el término del comportamiento elástico del elemento constructivo. Calculada mediante una regresión lineal ( Aceitón y Fernández, 1992 ). Los valores encontrados para esta variable se incluyen en el Cuadro N°5.



Cuadro N° 5

PROMEDIO DE LAS CARGAS EN LIMITE DE PROPORCIONALIDAD EN LAS VIGAS

Tipo de Viga	Carga en el Limite de Proporcionalidad (kg)
V 1-1	498,8
V 1-2	283,0
V 2-1	1.189,6
V 2-2	988,8
V 3-1	948,1
V 3-2	785,5
V 4-1	647,7
V 4-2	547,8

En esta Tabla se observa que la viga tipo V 2 es la que presenta mejor comportamiento estructural, el peor corresponde a la viga tipo V 1. Las vigas tipo V 3 y V 4 quedan en posiciones intermedias. Siempre ocurre que las vigas unidas con clavos espaciados a 20 cm dan resistencias menores que aquellas unidas con clavos separados a 10 cm.

Se puede, además, demostrar que los coeficientes de variación para la mayoría de los tipos de vigas están en un rango que normalmente se encuentra en los resultados empíricos para este material. La excepción la constituye la viga tipo 3 que está constituida por 5 piezas, de las cuales cuatro tienen bajas dimensiones, las que se extraen en el aserradero, del centro del árbol y por lo tanto contienen médula, madera juvenil, densidad baja, todo lo cual redundará en una alta dispersión de los datos.

Prup : Carga correspondiente al momento en que la viga colapsa, este valor no necesariamente coincide con la mayor carga que resiste la sección transversal, pero sí con la máxima deformación que ésta acepta antes de la rotura. Los resultados de la Carga de Ruptura se incluyen en el Cuadro N°6.



Cuadro N° 6

## CARGA DE RUPTURA PROMEDIO DE LAS VIGAS.

Tipo de Viga	Carga de Ruptura (kg)
V 1-1	1.498,0
V 1-2	1.162,5
V 2-1	2.590,1
V 2-2	2.169,4
V 3-1	2.234,3
V 3-2	1.968,4
V 4-1	1.677,8
V 4-2	1.568,7

Aquí también se observa que los valores de ruptura que se obtienen para el espaciamiento menor, son más elevados que aquellos obtenidos para una distancia entre clavos de 20 cm. Las diferencias entre estos espaciamientos son: 28,9% para la viga tipo V 1; 19,4% para la viga tipo V 2; 13,5% para la viga tipo V 3 y 7% para la viga tipo V 4.

(Ei) exp : Rigidez Experimental obtenida para los distintos tipos de vigas, parámetro se calculó con la ecuación :

$$(Ei) \text{ exp} = m \cdot \frac{L^3}{48}$$

con:        L        =        Luz de ensayo  
              m        =        Coeficiente angular recta carga-deformación

Cuadro N° 7

RIGIDEZ EXPERIMENTAL PROMEDIO DE LAS VIGAS.

Tipo de Viga	Rigidez Experimental Promedio (kg * cm <sup>2</sup> )
V 1-1	6,231 * 10 <sup>8</sup>
V 1-2	5,090 * 10 <sup>8</sup>
V 2-1	7,813 * 10 <sup>8</sup>
V 2-2	6,250 * 10 <sup>8</sup>
V 3-1	6,503 * 10 <sup>8</sup>
V 3-2	6,000 * 10 <sup>8</sup>
V 4-1	9,119 * 10 <sup>8</sup>
V 4-2	7,278 * 10 <sup>8</sup>

La viga más rígida resulta la tipo V 4, fundamentalmente porque tal valor sólo depende del alma de la sección transversal ( viga te ) y esa pieza, para estas vigas, resultó de buena calidad. Luego, en orden decreciente, se ubican la viga tipo V2 ( viga cajón ) y, posteriormente, las vigas V3 y V1.

Para la Rigidez Experimental nuevamente se presenta el caso que: "a menor espaciamiento, mayor Rigidez."

Se entrega, a continuación, el Cuadro N° 8 en el cual se incluyen ambas rigideces : Experimental y Teórica, a fin de poder comparar los resultados empíricos con los teóricos, usando la misma viga como individuos de ambas poblaciones.

En dicho Cuadro es posible verificar que la Rigidez Experimental es siempre mayor que la Rigidez Teórica. La última columna del Cuadro N°8 entrega la razón entre ambos tipos de rigideces, para las distintas secciones transversales compuestas.

Es conveniente recordar que la Rigidez Teórica resulta de aplicar las dimensiones reales de cada tipo de viga fabricada, en las fórmulas entregadas por la norma NCh 1198.

## Cuadro N° 8

## RIGIDECES TEORICAS Y EXPERIMENTALES DE LAS VIGAS ENSAYADAS.

Tipo de Viga	(EI) exp (kg * cm <sup>2</sup> )	(EI) teor (kg * cm <sup>2</sup> )	(EI) exp/(EI) teor
V 1-1	6,231 * 10 <sup>8</sup>	2,431 * 10 <sup>8</sup>	2,563
V 1-2	5,090 * 10 <sup>8</sup>	1,763 * 10 <sup>8</sup>	2,887
V 2-1	7,813 * 10 <sup>8</sup>	5,584 * 10 <sup>8</sup>	1,399
V 2-2	6,250 * 10 <sup>8</sup>	4,146 * 10 <sup>8</sup>	1,507
V 3-1	6,503 * 10 <sup>8</sup>	4,661 * 10 <sup>8</sup>	1,395
V 3-2	6,000 * 10 <sup>8</sup>	3,317 * 10 <sup>8</sup>	1,961
V 4-1	9,119 * 10 <sup>8</sup>	5,002 * 10 <sup>8</sup>	1,823
V 4-2	7,278 * 10 <sup>8</sup>	4,398 * 10 <sup>8</sup>	1,655

Dos grandes conclusiones se obtienen de este Cuadro:

i) El valor promedio de la rigidez de una viga, determinado experimentalmente, resulta mayor que el calculado mediante las especificaciones de la norma NCh 1198.

ii) La rigidez de una viga con sección transversal compuesta es inversamente proporcional al espaciamiento de los clavos que unen los diferentes elementos que conforman la sección. Es decir, a menor distancia entre clavos, mayor rigidez.

## Análisis de los Modos de Falla de las Vigas

Antes de comentar los tipos de falla y sus causas, en las distintas vigas y en sus piezas componentes, es necesario indicar que la madera tiene ciertas características que reducen su resistencia y que se les denomina "defectos". Estos, están contemplados en la clasificación estructural que se hizo en las diferentes piezas. Cada grado cuantifica y limita los defectos que pueden estar presentes en las piezas que clasifican en tal grado.

Algunos de los defectos más frecuentes que se encontraron en la madera de pino radiata usada, son:

- Agujeros : Aberturas ligeramente ovaladas que se presentan en la madera

y que pueden originarse al desprenderse un nudo, en la pieza.

- Alabeo : Diversas distorsiones que presenta el eje longitudinal de una pieza, tanto en el sentido longitudinal como transversal, no proporcionando caras planas. Esta falla se origina en un mal secado de la madera.

- Aserrío imperfecto : Defectos de las dimensiones de la pieza tanto en su ancho, espesor, largo, etc.

Estos dos últimos defectos mencionados fueron los que más dificultaron la fabricación de las probetas.

-Fibra desviada : Falta de paralelismo de la fibra con el eje de la pieza.

-Nudos : Se originan en ramas embutidas en el tronco del árbol, las cuales aparecen en la elaboración de la madera.

Esta es una de las fallas que se encontraron con mayor frecuencia. La resistencia de una pieza con otra sólo se diferencia en la cantidad y en el tamaño de nudos presentes en cada pieza.

- Rajaduras y partiduras : Separación total o parcial de las fibras de la madera por diferencias ocurridas en la contracción de la madera, durante el secado.

Después de la descripción de los defectos presentes en la madera ocupada, se muestra un resumen con las fallas de ruptura que prevalecieron en cada uno de los tipos de vigas ensayadas.

a) VIGA TIPO V 1 (Viga Doble Te con tres piezas ). Las fallas observadas en las vigas correspondieron a fallas por flexo-tracción en la fibra extrema inferior del alma. Esto coincide con el diagrama de tensiones de flexión en este tipo de viga. Además, en este tipo de viga, en algunas probetas, adicionalmente se produjo la ruptura del ala traccionada. Nunca se dio la situación en que fallaran ambas alas.

b) VIGA TIPO V 2 ( Viga Cajón ). En este caso, la presencia de nudos resulta fundamental en la falla de ruptura, ya que en el 95 % de los casos, la ruptura se originó en un nudo ubicado en el alma, en la zona más traccionada ( borde inferior ). El ala inferior se rompe ( en el 85% de los casos ) en zonas en las cuales se rompió el alma. En el 15% de los casos restantes el ala sólo se desclava sin alcanzar la ruptura.

c) VIGA TIPO V 3 ( Viga Doble Te con cinco piezas). En general, las fallas son parecidas a las ocurridas en la sección transversal de la viga tipo V 1.

d) VIGA TIPO V 4 ( Viga Te con dos piezas ) . Las vigas sufren un desclavamiento del ala en la zona sobre la falla del alma, lo que incide en la no ruptura del ala. En sólo unos pocos casos el ala se rompe. En el 65 % de los casos la causa de la rotura es la presencia de un nudo en la zona traccionada del alma. En el 35% de los casos restantes, las vigas fallan bruscamente por tracción en el borde inferior, en el centro de la luz.

En resumen, se puede afirmar que las fallas, en la ruptura, cumplen con lo indicado en la teoría, originándose en el canto más traccionado, en aquel punto donde la tracción es mayor.

Sin embargo, la falla no se produce necesariamente en el centro de la luz, sino que queda condicionada a la presencia de nudos de tamaño importante. Se observó que en un 78% de los casos fue así.

## Análisis de Tensiones y Deformaciones

### - Carga Máxima Experimental y Carga Admisible Teórica

En la curva carga-deformación de una viga solicitada en flexión, existen tres puntos de interés : la carga admisible, la carga en el límite de proporcionalidad y la carga de ruptura.

Para la razón : carga de ruptura/carga admisible, tanto en la norma alemana ( DIN ) como en la norma americana ( ASTM ), se especifica un valor para esta razón. En la primera el valor es igual a 2,75 y en la segunda a 2,1.

Es de interés conocer lo que sucede en los casos que se estudian en este proyecto. El valor de la carga de ruptura se obtiene de los gráficos encontrados para cada una de las vigas. El valor de la carga admisible teórica se puede obtener aceptando que la tensión de diseño es igual a la tensión de trabajo ( lo que implica suponer que la madera trabaja a un 100% respecto a la tensión de diseño ), siguiendo el procedimiento señalado a continuación :

El valor de la tensión de trabajo a utilizar corresponde a la tensión máxima del alma, ya que éste es el caso más desfavorable para las vigas estudiadas.

Luego, la expresión a usar en el caso de las vigas con doble simetría es:

$$f_{f, 2} = \frac{M}{I_{ef}} \cdot \frac{h^2}{2} \cdot n^2$$

Para la sección transversal con simetría simple ( viga te ) :

$$f_{f, 2} = \frac{M}{I_{ef}} \cdot \left( \gamma^2 \cdot a^2 + \frac{h^2}{2} \right)$$

Los parámetros que aparecen en estas expresiones ya fueron explicados en éste trabajo.

- M, correspondiente al Momento Máximo en la viga es calculado con :

$$M = P \cdot L/4 \quad (\text{kN-m})$$

- La tensión de diseño de la pieza que conforma el alma, se calcula de acuerdo a la metodología entregada por la norma NCh 1198, necesitando para ello valores de humedad, tiempo de duración de la carga y geometría de la pieza.

$$F_{dis} = F_{adm} \cdot K_h \cdot K_D \cdot K_{hf} \quad (\text{MPa})$$

Los otros factores de modificación mencionados en la norma no son aplicables a este caso.

con:  $F_{adm}$  = Según Tabla N° 4 de la norma NCh 1198.  
 $K_h$  = Factor de Modificación por contenido de humedad.  
 $K_D$  = Factor de Modificación por duración de la carga.  
 $K_{hf}$  = Factor de Modificación por altura de la pieza.

- Al igualar la tensión de trabajo (según etapa 1) con la tensión de diseño (calculada según etapa 3) se puede despejar el Momento solicitante del que, según etapa 2, se puede conocer la carga admisible teórica.

Los casos estudiados consideran que el Grado Estructural del alma es igual al correspondiente del ala. Esto se realiza con el objeto de simplificar los cálculos posteriores. Estos casos están indicados en el Cuadro N°9, en el que, además, se incluye el valor de la carga en el límite de proporcionalidad y la carga de ruptura, para los distintos grados estudiados.

Cuadro N° 9

**VIGAS ANALIZADAS. CARGA PROMEDIO EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y CARGA PROMEDIO DE RUPTURA**

Viga Tipo	Grado	Carga en el Limite (kg)	Carga de Rotura (kg)
V 1-1	GS	316	1.377
V 1-2	G2	183	741
V 2-1	GS	1.043	3.178
	G1	1.578	2.780
	G2	1.226	2.245
V 2-2	GS	799	2.608
	G2	879	2.329
V 3-1	GS	908	2.466
	G1	625	2.150
	G2	1.902	1.902
V 3-2	GS	800	2.702
	G1	1.138	2.710
	G2	681	2.170
V 4-1	GS	727	1.792
	G1	637	1.550
	G2	510	870
V 4-2	GS	612	1.854
	G1	373	1.149

Luego, con los valores encontrados anteriormente se puede conocer el Factor de Seguridad, correspondiente a la razón entre la Carga máxima experimental y la Carga admisible teórica, por un lado, además de la razón entre la Carga máxima experimental y la Carga en el límite de proporcionalidad, determinado experimentalmente en cada una de las vigas estudiadas. Cuadro N°10.

Cuadro N° 10

FACTOR DE SEGURIDAD

Viga Tipo	Grado	P máx/Pad. teor	P máx/P lfm
V 1-1	GS	3.820	4.358
V 1-2	G2	3.308	4.049
V 2-1	GS	4.405	3.047
	G1	6.192	1.761
	G2	7.353	1.831
V 2-2	GS	5.228	3.264
	G2	5.311	2.650
V 3-1	GS	4.200	2.716
	G1	5.327	3.440
	G2	10.788	1.000
V 3-2	GS	5.167	3.378
	G1	7.480	2.381
	G2	11.088	2.768
V 4-1	GS	2.098	2.402
	G1	(1) 1.736	2.433
	G2	2.390	1.706
V 4-2	GS	2.417	3.029
	G1	2.168	3.080

(1): Valor menor que la razón especificada por las normas americanas.

- Deformación Teórica en Comparación con Deformación Experimental

En este párrafo se trata de observar lo que sucede en el gráfico Carga-Deformación ( obtenido experimentalmente ), para una viga en particular, si se superpone una curva teórica, encontrada con la expresión de la deformada de una viga simplemente apoyada.

Esta última se calcula como sigue:

$$d \text{ téor} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot (EI) \text{ téor}}$$

con: P : Carga concentrada (Kg).  
L : Luz de la viga (m).



(EI) teor : Rigidez teórica según NCh 1198

La relación anterior es válida sólo hasta el límite elástico. En el caso de la viga V2-1-01, cuyo gráfico se muestra en la Figura N°2, se observa lo siguiente:

P1 : Carga en el límite elástico encontrada a través de una regresión lineal en que el número de puntos escogidos está determinado por el coeficiente de correlación ortogonal, aceptándose un valor mínimo de 0,995 . El último punto es el correspondiente al límite elástico.

P2 : Carga admisible teórica calculada.

P3 : Carga admisible correspondiente a una deformación igual al valor  $L/360$ .

En el gráfico se puede observar que la carga en el límite elástico ( P1 ) es mayor que la carga admisible experimental ( P3 ) y esta última mayor que la carga admisible teórica ( P2 ), obtenida a través del análisis de tensiones.

La curva teórica está por debajo de la experimental indicando que para una carga cualquiera, la deformación experimental es menor que la deformación teórica.

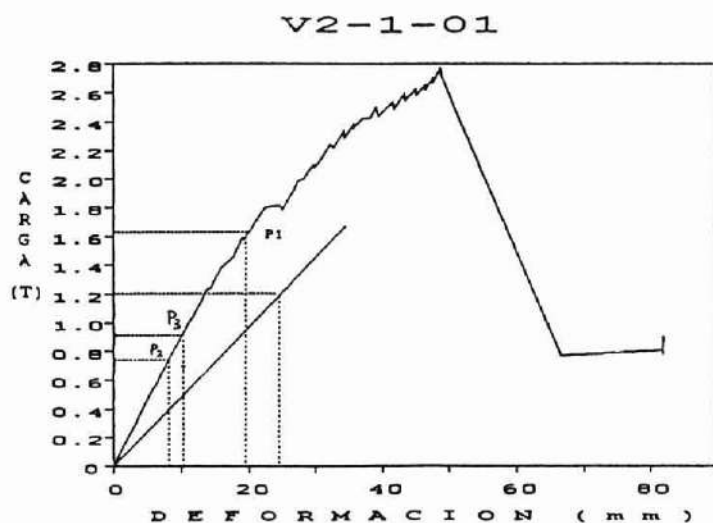


Figura N° 2. GRAFICO CARGA / DEFORMACION

Los valores teóricos de la deformación resultan ser superiores en un 85% a los experimentales (Cuadro N°11).

Cuadro N° 11

DEFORMACION TEORICA Y EXPERIMENTAL. V2-1-01

Carga (kg)	d exp (mm)	d teor (mm)	d teor/d exp
P1	48,80	34,71	84,6
P2	10,56	19,54	85,0
P3	8,15	15,10	85,3

Si se observa lo que ocurre con las rigideces teórica y experimental, se obtiene que la primera es mayor en un 84.4 %, lo que avala la relación inversa que existe con la deformación.

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto es estudiar el comportamiento teórico y experimental de las secciones transversales compuestas de piezas de madera aserrada, clavadas entre sí, con el fin de realizar una verificación de la norma NCh 1198 con respecto a la metodología de cálculo allí especificada, para vigas construidas con materiales nacionales.

Al término de este estudio, se puede hacer una serie de alcances respecto a la teoría empleada en éste y a la fase experimental ejecutada, que se transforma en lo más importante del proyecto.

## Teoría

La norma NCh 1198 entrega una metodología de cálculo de vigas con sección transversal compuesta, basada íntegramente en la Norma Alemana DIN 1052, la que está fundamentada en la Teoría de Karl Möhler.

En el caso de la norma chilena cabe destacar :

- No entrega una metodología de diseño para los distintos tipos de secciones por separado, sino que lo hace para una sección generalizada. Las expresiones que se entregan no llevan de igual manera a las deducidas por Karl Möhler, ya que éstas no son válidas para secciones con simetría simple, como es el caso de la viga con sección Te.
- La existencia de dichos errores, puede llevar a una confusión, corriéndose el peligro de realizar un mal diseño.

Para el caso de la Norma Alemana y de la Norma Chilena se puede indicar lo siguiente :

- En ambos métodos, para incorporar elementos de simplificación, se impone como elástica de la viga una función de desarrollo sinusoidal, independiente del estado de carga que la solicite. Como consecuencia, los resultados obtenidos se aproximarán a los reales, en la medida que el estado de carga solicitante produzca una elástica lo más aproximada posible a un desarrollo sinusoidal. Esto indica, entonces, que para una viga que esté solicitada por una carga aplicada en el tercio de la luz, por ejemplo, los resultados simplificados diferirán en forma apreciable de la solución exacta.

## Metodología de Experimentación

Uno de los objetivos específicos del estudio consiste en implementar y ejecutar una fase experimental, la que se llevó a efecto en el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile ( USACH ). El equipo principal de esta fase consistió en un Marco de Prueba metálico el cual fue financiado por los aportes de FONDECYT y de la USACH.



Respecto a la calidad de la madera se puede decir :

- La madera empleada es de buena calidad y fue adquirida en estado verde, por lo que se hizo necesario secarla en el laboratorio. Se llegó a un Contenido de Humedad, promedio final, de 10%, aproximadamente.
- Como consecuencia de lo anterior se obtuvo que las piezas de mayor espesor y las provenientes del centro del árbol ( madera juvenil ), resultaron afectadas con defectos importantes, principalmente alabeos. Esto lleva a concluir que una madera de buena calidad, en estado verde, no implica resultados satisfactorios si el secado es deficiente.
- Otro defecto que se observó con gran frecuencia es la falta de homogeneidad de las dimensiones de las piezas.
- Para que el uso de la madera como material de construcción estructural, tenga un auge comparable al de países desarrollados, es imprescindible que se tome conciencia de las bondades de ella y se mejoren los procesos de elaboración, controlando el producto final, mediante inspecciones de calidad.

Respecto a la Clasificación Estructural de las piezas :

- El método escogido está especificado en la norma NCh 2149 y consiste en medir el Módulo de Elasticidad de cada pieza. Es de relativa confiabilidad debido, principalmente, a que algunas piezas estaban deformadas a causa del secado deficiente. Dicho método es confiable si se realiza en madera recta.

Resultaría de interés realizar una comparación entre este método y el de clasificación visual ( NCh 1207 ) con el objeto de verificar la calidad resultante de las piezas, según ambos métodos.

Respecto a la conformación de las probetas :

- Producto de los defectos de secado ( alabeos ) se dificultó la confección de las vigas.
- La sección transversal compuesta tipo V2, viga cajón, fue la de mayor dificultad en su fabricación, tanto por los defectos de secado como por el bajo espesor que se le asignó al alma (23 mm), lo que complicó el clavado.

Respecto a la experimentación :

- El equipo de experimentación, que considera el uso del computador como

herramienta fundamental, facilita la realización de los ensayos puesto que los datos son leídos y procesados por el computador, con lo que se logra un análisis más profundo y detallado.

Este hecho permite la realización de la curva Carga-Deformación hasta la ruptura y evita errores de apreciación en las mediciones.

## Resultados

Con los datos obtenidos en la experimentación se calcularon las propiedades más relevantes de las secciones tipos, de las cuales se puede decir :

Respecto a las propiedades físicas :

- Como se dijo anteriormente, el contenido de humedad resultó homogéneo e igual a un 10% , aproximadamente.
- La densidad referencial obtenida de las probetas es de  $510 \text{ Kg/m}^3$ . Por ser ésta una medida propia del material, resultó muy homogénea para los distintos tipos de vigas confeccionados.

Respecto a las propiedades mecánicas :

- La Rigidez Efectiva Teórica obtenida a través de las especificaciones de la norma NCh 1198 resultó ser significativamente menor a la obtenida experimentalmente para las cuatro secciones transversales compuestas, con ambos espaciamientos de clavos.
- Estos resultados estarían indicando que los materiales nacionales se pueden usar con seguridad, empleando las especificaciones de cálculo de la norma NCh 1198 para secciones transversales compuestas. No obstante, lo conservadora que resulta lleva a proponer futuros estudios de métodos óptimos.
- La Rigidez Efectiva Experimental, resultó mayor para todas las secciones que presentan un corrimiento horizontal de sus partes, con un espaciamiento de 10 cm, con respecto a las mismas con un espaciamiento de 20 cm.
- En la sección tipo V3, en la que la Rigidez Experimental es levemente

mayor para espaciamientos de 10 cm, respecto a la de 20 cm, se puede hacer notar que este tipo de sección es la única que tiene un corrimiento vertical de las piezas que la componen. Por lo tanto, un mayor número de clavos dispuestos horizontalmente en secciones compuestas no tiene incidencia alguna en la Rigidez Efectiva de las vigas.

- La Carga de Ruptura resultó estar condicionada al espaciamiento entre clavos para la secciones con doble simetría.
- Se deduce, entonces, la influencia que tiene el ala traccionada en la capacidad resistente de la viga a la ruptura, puesto que ésta colabora al alma a resistir la tensión que se genera en la fibra más traccionada.
- Esta última afirmación fue completamente corroborada, visualmente, durante los ensayos realizados.
- Por último, en las secciones con simetría simple se verificó la poca ayuda que presta el ala en la capacidad de carga que ofrece la viga, siendo ésta absorbida plenamente por el alma de la viga.

Respecto al Factor de Seguridad para la carga máxima:

- En general, los valores del factor de seguridad encontrados aseguran el trabajo de las vigas en la zona elástica. Esto basado en las especificaciones de las normas alemana y norteamericana. Pocas son las excepciones donde lo anterior no se cumple, pero en ellas resultaron pocos individuos que cumplieran las condiciones de la población que se compara.

Respecto a las deformaciones teóricas y experimentales:

- Se observó que para una misma carga, la deformación teórica es superior a la experimental, asegurando así un diseño conservador.
- Como la deformación está relacionada inversamente con la Rigidez, se puede deducir que si la Rigidez Teórica es menor que la Rigidez Experimental, en ciertos porcentajes, la Deformación Teórica será mayor que la Experimental, en los mismos porcentajes.

Respecto a los modos de falla de las distintas vigas ensayadas, se puede señalar:

- Se observa una uniformidad en el modo de falla, ya que siempre se originó en la fibra más traccionada del alma.

- La falla no se produce necesariamente en el centro de la luz, donde la flecha y el Momento de flexión son máximos para este tipo de carga, carga concentrada en el centro de la luz, sino que queda condicionada a la presencia de defectos importantes ( nudos ) que ubican la Sección Crítica de la viga.
- En el caso de la viga tipo V2 (viga cajón), la falla del ala inferior está ligada a la falla del alma ya que el ala colapsa bajo la zona en que lo hace el alma. El ala superior sufre un desclavamiento sobre la falla del alma, lo que incide en la no ruptura de ella.

Respecto al Módulo de Corrimiento :

Para realizar el cálculo teórico de las vigas se consideró un Módulo de Corrimiento ( C ) igual a 600 Kg/cm (González, 1989), que es un valor especificado por la Norma Alemana DIN 1052 y adoptado por la Norma Chilena 1198. Luego se puede afirmar lo siguiente :

- Existen dos criterios para medir el valor de C (Wagner, 1979). En el primero la unión queda sometida a cizalle directo, en el segundo se obtiene a través de un ensayo de flexión de vigas con sección transversal compuesta.
- El primer criterio requiere una metodología de experimentación específica, la cual debe ser tratada con mayor detenimiento y no corresponde a los objetivos de este proyecto.
- El segundo criterio podría ser utilizado en este estudio, pero los valores obtenidos difícilmente se acercarán a la realidad, puesto que el método supone un Módulo de Elasticidad constante para todas las piezas de madera que conforman la sección transversal compuesta.
- Se puede concluir en la necesidad de abordar el tema del Módulo de Corrimiento de manera más precisa, haciendo uso de métodos de ensayo adecuados (González, 1989) para poder comparar los resultados con los indicados en la norma NCh 1198.

Los resultados que se obtuvieron son favorables para los materiales nacionales de las calidades normalmente usadas en la construcción.



## REFERENCIAS

**Aceitón, M. y Fernández, V., 1992.** Estudio Teórico y Experimental de Vigas de Sección Transversal Compuesta. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago.

**DIN 1052, 1986.** Holzbauwerke, Berechnung und Aufuhrung, Vorlage, Benth Verlag.

**Estelle Luis, 1992.** Apuntes de Cátedra: Estadística Aplicada a la Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago.

**Fernández, Sergio, 1988.** Elementos de Diseño Estructural, Material Didáctico de Capacitación N° 18, Departamento de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.

**González J., 1989.** Cálculo de Vigas de Madera de Sección Transversal Compuesta sobre la Base de Ligazón Elástica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN), 1991.** Madera Aserrada de Pino Radiata - NCH 1207, Santiago, Chile.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN), 1991 a.** Madera -Construcciones en Madera - Cálculo. NCH 1198, Santiago, Chile.

**Pérez Galaz Vicente, 1990.** Manual de Calculo de Construcciones en Madera. Volumen 1, División Industrias, Instituto Forestal, Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, Chile.

**Popov Egor P., 1989.** Mecánica de Materiales, Primera Edición Reimpresa, México.

**Vallejos, M. y Venegas, F., 1993.** Estudio Teórico de Vigas de Sección Transversal Compuesta. Segunda Parte. Sección Cajón y Te. Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.

**Wagner M., Mario, 1979.** El Fundamento de las Especificaciones de la Norma Alemana DIN 1052 Relativa al Diseño de Piezas Estructurales de Madera de Sección Transversal Compuesta, Solicitadas a Flexión y Compresión. Informe Técnico N°45, Sección Construcción, Departamento de Obras Civiles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago.



# UTILIZACION DE RENOVALES DE ROBLE Y RAULI EN LA FABRICACION DE TABLEROS DE PARTICULAS

Miguel Peredo L.(\*)  
Hernán Poblete W.(\*\*)  
Luis Naveillán G.(\*\*\*)

## RESUMEN

*Se analiza la factibilidad técnica de fabricar tableros de partículas usando como materia prima astillas provenientes de renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*).*

*Los objetivos específicos, son determinar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros, evaluando la influencia de la corteza y ramas en dichas propiedades y comparando, además, las propiedades y resistencias de tableros encolados con urea y fenol-formaldehído.*

*El material de ensayo provino de árboles cuya edad fluctuaba entre 15 y 20 años.*

*Las propiedades físico-mecánicas de los tableros se evaluaron utilizando la norma DIN 68763.*

*El estudio de los tableros en general arroja buenos resultados, pues los valores obtenidos superan los mínimos determinados por la norma al ser sometidos a los ensayos mecánicos de tracción y flexión con ambos tipos de adhesivos.*

*El análisis de los resultados obtenidos permite apreciar que la utilización de renovales de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) como materia prima para la fabricación de tableros de partículas se presenta como una buena alternativa desde el punto de vista técnico.*

**Palabras Claves :** *Tableros de partículas, Propiedades Mecánicas, Adhesivos, Nothofagus obliqua, Nothofagus alpina.*

(\*) Dr. Ing. Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia

(\*\*) Dr. Ing. Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia

(\*\*\*) Ing. Forestal, Banco Nacional, Bandera 287, Santiago.

## **ABSTRACT**

*Technical feasibility of particle board panels manufacture from second-growth Roble ( **Nothofagus obliqua** ) and Rauli ( **Nothofagus alpina** ) timber is studied*

*Specific objectives of the study are. To determine the physical and mechanical properties of the resulting wood-base panels and to compare the properties and strenght of panels glued with urea and phenolphormaldehyde.*

*A total of twenty four panels were manufactured, including the control samples and a mixed species panel, and mechanical and physical properties were tested and evaluated using the DIN 68763 standard*

*In general terms the panels performed well, the minimun requirements for tensile strength and bending strength, with both types of glue, appear over the standard.*

*Results show that Roble and Rauli second growth raw material is an interesting alternative to produce panels*

**Keywords:** *Particle boards, Mechanical and Phisical Properties. Adhesives. **Nothofagus obliqua, Nothofagus alpina.***

## INTRODUCCION

En la fabricación de tableros de partículas en Chile, se utiliza casi exclusivamente madera de pino insigne ( **Pinus radiata** ), cuya calidad en cuanto a forma y estado sanitario permite su utilización como materia prima para otro tipo de productos forestales.

La madera de pino insigne presenta excelentes aptitudes para la fabricación de tableros aglomerados, sin embargo existe en el país una importante cantidad de renovales de roble (**Nothofagus obliqua**) y raulí (**Nothofagus alpina**) de cuyo manejo podría obtenerse la materia prima necesaria para satisfacer las necesidades de la industria de tableros de partículas.

Considerando el alto número de árboles por hectárea que presentan dichos bosques, es posible suponer que el producto de los raleos se podría utilizar en la fabricación de tableros de partículas. De esta forma se aprovecharía una cantidad importante de madera, que en la actualidad se utiliza como combustible o sencillamente se abandona en el bosque, y se mejorarían estos renovales con el manejo.

Actualmente se analiza además, la posibilidad de establecer una bonificación estatal por el manejo del bosque nativo, lo cual incentivaría la realización de prácticas silvícolas en las casi 600.000 ha de renovales con futuro económico que se estima existen en el país.

Tomando en consideración el importante volumen de materia prima que se podría obtener del manejo de estos bosques y la calidad de los tableros de partículas fabricados con especies latifoliadas, especialmente coihue (**Nothofagus dombeyi**), resulta interesante realizar ensayos para determinar las características técnicas de paneles aglomerados, utilizando materia prima proveniente del raleo de renovales de roble y raulí.



## MATERIAL Y METODO

### Astillas

Como material de ensayo se utilizaron astillas provenientes del procesamiento de árboles jóvenes completos, con y sin ramas y corteza. El diámetro ( DAP ) medio de los fustes varió entre 6 y 20 cm.

Las especies astilladas para la fabricación de tableros fueron roble y raulí provenientes de renovales ubicados en la provincia de Valdivia. La especie roble, se encontraba en el fundo La Esperanza, propiedad de la empresa Forestal Tornagaleones, presentando un diámetro medio de 18 cm (DAP), una altura media de 18 m y una edad de 20 años. La especie raulí, se encontraba en el predio Las Trancas, ubicado en el sector costero de La Unión, presentando un diámetro medio de 10 cm (DAP), una altura media de 14 m y una edad de 13 años.

Para la elaboración de los tableros testigos se utilizó como materia prima la especie pino insigne sin corteza, por ser la especie principalmente utilizada por esta industria en Chile.

### Adhesivos

Para encolar las partículas se utilizaron dos tipos de adhesivos:

**Ureaformaldehido:** Como adhesivo ureico se utilizó el producto ADELITE UT-60 sin catalizador, en solución al 50%.

**Fenolformaldehido:** Como adhesivo fenólico se utilizó el producto OXILITE 328 preparado con el catalizador-relleno FR-850 y formalina al 37% como acelerador.

## Obtención de Astillas y Virutas

Los rollizos de las especies roble, raulí y pino insigne se procesaron en un astillador industrial, marca KLOCKNER, modelo TR-30, y con el objeto de reducir el tamaño de las astillas se utilizó un viruteador Pallman, modelo PZ-8.

De acuerdo con estudios realizados por Deppe y Ernst (1982), Peredo (1983), Post (1958) y Ginzel y Peraza (1966), el tamaño de las partículas tiene gran influencia en la mayoría de las propiedades físico-mecánicas de los tableros y también en la calidad del encolado. Por esta razón se determinó el coeficiente de esbeltez que presentan las partículas gruesas de las especies en estudio, con el objeto de analizar su efecto en los diferentes ensayos.

## Secado y Tamizado de las Partículas

Las virutas se obtuvieron con un contenido de humedad superior al 80%, con el objeto de disminuir la proporción de material fino durante el proceso.

Para reducir el contenido de humedad y alcanzar el porcentaje recomendado por Ginzel y Peraza (1966), previo al encolado, el material se secó en un equipo marca HERAEUS, modelo TU-h 2. Se llegó a un contenido de humedad final de las partículas entre 4 y 8% (base madera seca). Posteriormente, las astillas fueron tamizadas con el objeto de separar las gruesas para la capa media y las finas para las capas externas de los tableros.

## Encolado de las Partículas

Las partículas para ambas capas del tablero previamente secas y clasificadas fueron encoladas separadamente utilizando la siguiente relación de encolado:

- Urea-formaldehido : Capa externa 10% de resina seca referida al peso anhidro de las



partículas.

Capa media : 8% de resina seca en relación al peso anhidro de las partículas.

- Fenol-formaldehido : Capa externa 14% de resina seca en relación al peso anhidro de las partículas.  
Capa media : 10% de resina seca en relación al peso anhidro de las partículas.

El volúmen de material encolado se calculó para la producción de tableros de 11 mm de espesor y 700 kg/m<sup>3</sup> de densidad.

La distribución del adhesivo sobre las partículas se realizó utilizando una encoladora marca DRAIS, modelo FSP 80.

### Fabricación de los Tableros

La elaboración de los tableros se realizó de acuerdo con las siguientes condiciones :

- Densidad esperada : 700 kg/m<sup>3</sup>
- Ciclo de prensado : temperatura de los platos 180°C ± 10°, presión máxima 3 N/mm<sup>2</sup>, presión media 1 N/mm<sup>2</sup> aproximadamente.
- Tiempo de prensado : 6 minutos
- Espesor : 11 mm

Los tableros se componen de un 50% de virutas finas (capas externas) y un 50% de virutas gruesas (capa media).

La temperatura de los platos permaneció constante en 180°C mientras que la presión se varió durante el tiempo de prensado. Durante los 30 segundos iniciales la prensa alcanza la presión máxima de 3 N/mm<sup>2</sup>, luego ésta permanece constante durante 3 minutos, para descender en un tiempo de 30 segundos a 1 N/mm<sup>2</sup>, permaneciendo 2 minutos y finaliza el ciclo.

En estas condiciones la zona central del tablero alcanza una temperatura de

100°C al cabo de aproximadamente 2 minutos, produciendo la evaporación del medio portador de la resina (H<sub>2</sub>O) lo que conduce al fraguado del adhesivo.

## Tipos de Tableros

De acuerdo con los diferentes tipos de partículas de las especies consideradas en el estudio, se fabrican los tipos de tableros que se indican a continuación, utilizando Urea y Fenol-formaldehido

Tableros compuestos por :

- 100% astillas de roble : - Con corteza y ramas (A)  
- Sin corteza y sin ramas (B)
- 100% astillas de raulí : - Con corteza y ramas (C)  
- Sin corteza y sin ramas (D)
- 50% astillas de roble + 50% astillas de Raulí:  
- Con corteza y ramas (E)  
- Sin corteza y sin ramas (F)
- 100% astillas de pino insigne :  
- Sin corteza y sin ramas (T)

Por cada una de las variables mencionadas, se confeccionaron dos tableros, lo que significa un total de 24 tableros.

## Propiedades Físico - Mecánicas

Con el objeto de evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros confeccionados, se hicieron las siguientes determinaciones según las normas DIN correspondientes.

- Densidad y humedad (DIN 52361)
- Resistencia a la flexión (DIN 52363)
- Hinchamiento (DIN 52364)

- Resistencia a la tracción (DIN 52365)
- Resistencia a la tracción en húmedo (DIN 68763)

Todos los ensayos se hicieron con probetas climatizadas según DIN 50014.

Los valores obtenidos para cada uno de los ensayos se compararon con los valores especificados por la norma DIN 68763, con el objeto de evaluar las propiedades de los tableros.

### Número de Muestras para los Ensayos

El número de probetas obtenidas para los diferentes ensayos por especie, fue la siguiente .

Tipo de Ensayo	Adhesivo	
	Urea-Formaldehido	Fenol-Formaldehido
Tracción seco	32	12
Tracción húmedo	-	20
Flexión	24	24
Densidad	32	32
Hinchamiento	24	24

### Análisis de Datos

Se efectuó un análisis de varianza con los valores obtenidos, utilizando para ello el programa SPSS y el subprograma ONE WAY, y el test de comparación múltiple de SCHEEFE. Se formaron grupos con aquellas especies que no presentaron diferencias significativas entre ellas. Este procedimiento se aplicó a cada tratamiento por separado. Los valores entregados por este test corresponden a los valores medios, desviación estándar, error estándar e intervalo de confianza entre las medias para los distintos grupos. También se realizó el test de Kolmogorow-Smirnov para verificar normalidad de los datos.



## PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Las tres especies estudiadas permitieron trabajar sin ningún tipo de problema durante su transformación a astillas, en el encolado y en el prensado, lográndose fabricar tableros homogéneos y de buena presentación.

Las densidades de las especies así com el coeficiente de esbeltez de las virutas se presentan en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1

### VALORES MEDIOS DE DENSIDAD DE LA MADERA Y COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LAS PARTICULAS DESPUES DEL ASTILLADO

Parámetros	Roble	Raúl	Pino Insigne
Densidad de la madera (kg/m <sup>3</sup> )	474,0	516,0	462,0
Coefficiente de esbeltez	68,8	67,1	73,2

Al observar su aspecto, los tableros presentan dos tonalidades distintas debido a la influencia de la corteza. Los tableros que incluyeron corteza son más oscuros que los fabricados sin ella, considerando el mismo tipo de adhesivo. Debido a la coloración propia de cada adhesivo, los tableros fabricados con fenol-formaldehído resultaron de tonalidad más oscura que los fabricados con ureaformaldehído.

## Propiedades Físicas

### Densidad

Se obtuvieron densidades que fluctúan dentro del rango previamente establecido, aproximadamente 700 kg/m<sup>3</sup>. Es así como el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre los diferentes tipos de

tableros, al considerar la variable densidad.

Los valores obtenidos se resumen en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2

DENSIDAD MEDIA DE LOS TABLEROS E INTERVALOS DE CONFIANZA  
PARA LAS MEDIAS AL 95% EN TABLEROS FABRICADOS  
CON UREA Y FENOL-FORMALDEHIDO

Materias Primas	Ureaformaldehido		Fenolformaldehido	
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Intervalo Conf. al 95%	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Intervalo Conf. al 95%
Roble con corteza(A)	702	691-713	-	-
Roble sin corteza (B)	709	695-723	735	729-741
Rauli con corteza(C)	700	690-711	708	698-741
Rauli sin corteza (D)	698	687-708	725	717-732
Mezcla con corteza (E)	700	690-711	-	-
Mezcla sin corteza (F)	689	675-702	700	687-713
Pino Isigne (T)	704	689-719	711	702-720

En el Cuadro N° 2 se observa que todos los valores obtenidos fluctuaron dentro del rango requerido, lo que significa que el 95% de las probetas analizadas están dentro de los intervalos de confianza indicados.

### Hinchamiento

Los tableros de partículas producidos con ureaformaldehido, son requeridos para uso en interiores, donde las condiciones de humedad no son severas. Los tableros fabricados con fenolformaldehido, en tanto, son requeridos para uso en exteriores, en condiciones más severas en cuanto a humedad se refiere, propiedad que se obtiene principalmente por las cualidades propias del adhesivo. En consecuencia, el análisis del hinchamiento es un elemento que sirve de apoyo al evaluar el comportamiento de los paneles para las condiciones futuras de uso.

- Tableros Encolados con Ureaformaldehido

Los valores obtenidos sobrepasan los límites permitidos por la Norma DIN 68761, que establece para 2 horas de inmersión en agua un hinchamiento máximo de 8%, y los límites exigidos por la Norma DIN 687763, que establece para 24 horas de inmersión en agua un hinchamiento de 16% como máximo (Figura N° 1).

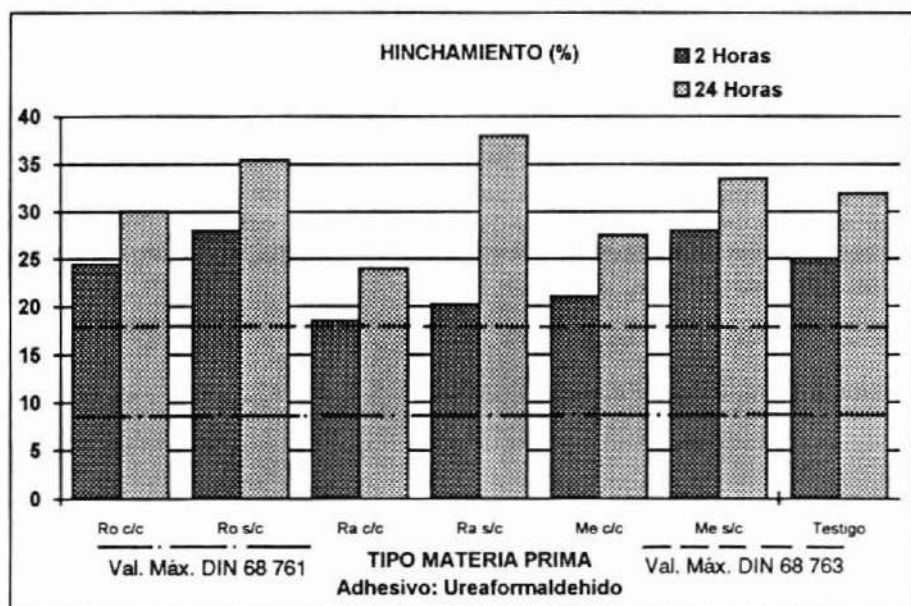


Figura N° 1. HINCHAMIENTO MEDIO A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSION EN AGUA A 20°C PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE MATERIAS PRIMAS TRATADAS CON UREAFORMALDEHIDO

Los valores de hinchamiento más desfavorables se observan en los tableros fabricados con roble con corteza, mezcla sin corteza, pino insigne y roble sin corteza. Aquellos correspondientes a raulí, con y sin corteza, y a la mezcla con corteza, presentaron los valores más bajos de hinchamiento, aunque superan ampliamente los valores máximos estipulados por las normas DIN para esta propiedad.

Al observar el efecto de la corteza sobre la propiedad física hinchamiento, es posible deducir que en los tipos raulí y mezcla, para tableros fabricados con ureaformaldehído, ésta de alguna manera se comporta como agente hidrófobo, ya que los valores de hinchamiento son menores que los observados en tableros sin corteza. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Chen y Paulitsch (1974), quienes trabajando con biomasa como materia prima encontraron que algunos taninos presentes en la corteza ejercían cierta acción repelente al agua.

Los valores de hinchamiento en la especie roble son mayores en los tableros que incluían corteza, por presentar un alto porcentaje de ella. Debe considerarse que si bien la corteza puede actuar como hidrófobo, al sobrepasar ciertos límites tiene un efecto negativo en el encolado de las partículas, al no permitir una distribución homogénea del adhesivo. Por esto, se puede deducir que la corteza afectó la adhesión entre las partículas, influyendo negativametne sobre esta propiedad física.

#### - Tableros Encolados con Fenolformaldehído

El hinchamiento después de 24 horas de inmersión en agua a 20°C tiene como valor máximo especificado en la norma DIN 68763, para tableros fabricados con adhesivos resistentes al agua, un 12%. En el Cuadro N° 3 y en la Figura N° 2 se observa que los valores obtenidos superan este máximo permitido.

Cuadro N° 3

PROPIEDAD FISICA HINCHAMIENTO DESPUES DE 2 Y 24 HORAS  
DE INMERSION EN AGUA A 20°C.

Tipos de Materia Prima	Hinchamiento			
	2 Horas		24 Horas	
	(%)	DE*	(%)	DE*
Roble sin corteza(B)	14,57	1,08	17,59	1,09
Raulí con corteza (C)	14,34	1,08	17,47	1,15
Raulí sin corteza (D)	17,64	9,00	19,73	1,07
Mezcla sin corteza (F)	24,03	1,88	29,15	2,70
Pino Insigne (T)	16,95	0,84	19,32	1,25

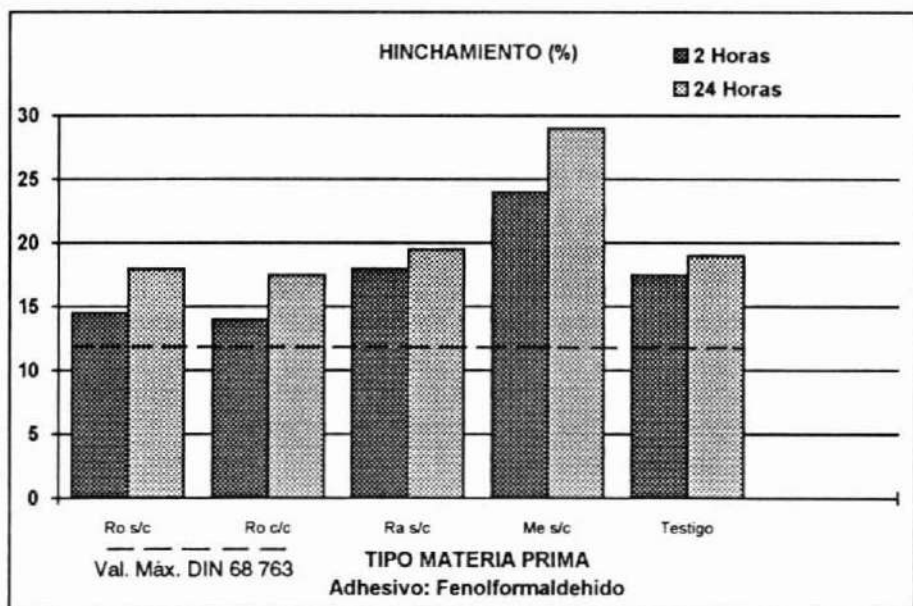


Figura N° 2. HINCHAMIENTO MEDIO DESPUES DE 2 Y 24 HORAS DE INMERSION EN AGUA A 20°C PARA MATERIAS PRIMAS TRATADAS CON FENOLFORMALDEHIDO

Los resultados presentados en la Figura N° 2 indican que los tipos roble sin corteza, raulí con corteza, raulí sin corteza y pino insigne no presentan valores muy altos de hinchamiento. En tanto, la mezcla sin corteza es la que presenta los más altos porcentajes de hinchamiento.

Al igual que para los tableros encolados con ureaformaldehído, los fabricados con fenol también superan los límites máximos permitidos por DIN 68763. Sin embargo, el valor de hinchamiento evidenciado en el último tipo de tablero es considerablemente menor que el observado en paneles aglomerados con urea.

La propiedad hinchamiento es de gran importancia en la determinación de la factibilidad técnica de los tableros para ser utilizados en la fabricación de muebles y construcciones, por este motivo se ha realizado gran cantidad de ensayos tendientes a determinar el efecto de agentes hidrófobos sobre esta variable. Al respecto, Müller (1962) y Roffael y May (1983) determinaron que el uso de este tipo de agentes, disminuye en un 50-70% el hinchamiento en los tableros de partículas.

Teniendo en cuenta lo expresado por los autores antes mencionados, se podría pensar que las especies utilizadas en este ensayo, al ser tratadas con agentes hidrófobos, cumplirían con los requisitos exigidos por las normas.

En relación al efecto de la corteza sobre la propiedad física hinchamiento, es posible deducir que en la especie raulí con fenolformaldehído, la corteza se comportó como agente hidrófobo, ya que los valores de hinchamiento observados son menores que los valores observados en los tableros de raulí sin corteza.

## **Propiedades Mecánicas**

El estudio de las propiedades mecánicas es de gran importancia para la determinación de las futuras posibilidades de uso de los tableros de partículas.

## Resistencia a la Flexión

- Tableros Encolados con Ureaformaldehido

Cuadro N° 4

VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE LAS RESISTENCIAS A LA FLEXION CON SUS RESPECTIVAS DESVIACIONES ESTANDAR POR TIPO DE MATERIA PRIMA

Tipos de Materia Prima	Flexión	
	(N/mm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
Roble con corteza (A)	23,4	3,43
Roble sin corteza (B)	28,4	3,59
Raull con corteza(C)	23,0	2,77
Raull sin corteza (D)	26,4	2,45
Mezcla con corteza (E)	22,6	2,47
Mezcla sin corteza (F)	21,6	3,63
Pino Isigne (T)	29,3	3,80

De los tipos de materias primas estudiadas, la que presentó mejor resistencia a la flexión fue roble sin corteza, aunque estos valores son algo inferiores a la resistencia observada para la especie testigo pino insigne (Figura N° 3).

Raullí sin corteza también presenta excelentes condiciones en comparación con los otros tipos estudiados. Los valores observados para los otros tipos de materia prima son igualmente inferiores al testigo, sin embargo, superan ampliamente el valor mínimo exigido por la norma DIN 68763 (18 N/mm<sup>2</sup>).

Respecto a la densidad determinada en la madera de las especies utilizadas, los valores obtenidos permiten deducir que en general, los tableros fabricados con maderas de menor densidad presentan mayor resistencia a la flexión. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Larmore (1959), quien trabajó analizando las propiedades físico-mecánicas de los tableros, en función de la densidad de la madera.

La mayor resistencia a la flexión se obtuvo con tableros de pino insigne, luego en tableros de roble y finalmente raullí.

En relación al coeficiente de esbeltez observado para las especies estudiadas, los valores de resistencia obtenidos permiten deducir que de alguna manera existió una influencia directa en la resistencia a la flexión, observándose que la especie pino insigne presentó la resistencia más alta con un coeficiente de esbeltez de 73,2, luego Roble con un coeficiente de esbeltez de 68,7 y, finalmente, raulí con un coeficiente de esbeltez de 67,5. En trabajos realizados por Poblete y Peredo (1985) y Ginzler y Peraza (1966), se concluye que a mayor coeficiente de esbeltez se obtiene mejor resistencia a la flexión.

Por otra parte, se puede observar que el efecto de la corteza es negativo en la resistencia a la flexión. Es así como las especies roble y raulí presentan valores de resistencia notoriamente superiores en aquellos tableros donde no se encuentra presente, concordando esto con los resultados obtenidos por Chen *et al.* (1972).

Los valores de flexión observados para las mezclas son menores que los valores observados para las especies por separado, pero estos valores medios superan en forma muy amplia el valor mínimo requerido por DIN 68763. Debe destacarse este hecho, por cuanto representa una buena alternativa de utilización para los renovales.

Al observar los valores medios de flexión y sus desviaciones estándar en las especies utilizadas (Cuadro N° 5), se puede constatar que los grupos por separado tuvieron un comportamiento bastante homogéneo en este ensayo. Esto queda corroborado por el hecho de que los coeficientes de variación no superan un 16% de los promedios obtenidos.



- Tableros Encolados con Fenolformaldehido

Cuadro N° 5

**VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE LAS RESISTENCIAS A LA FLEXION CON SUS RESPECTIVAS DESVIACIONES ESTANDAR POR TIPO DE MATERIA PRIMA**

Tipos de Materia Prima	Flexión	
	(N/mm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
Roble sin corteza (B)	30,03	2,11
Rauli con corteza(C)	23,61	3,0
Rauli sin corteza (D)	30,42	3,17
Mezcla sin corteza (F)	25,35	4,64
Pino Isigne (T)	28,79	4,40

El tipo que presentó menor resistencia al ensayo de flexión fue rauli con corteza, siendo el único que mostró diferencia significativa con respecto a las demás especies. Se puede apreciar que las otras maderas y el testigo registran resistencias homogéneas, siendo rauli sin corteza la que demuestra haber sido la más resistente a este ensayo (30,42 N/mm<sup>2</sup>).

Los tableros fabricados con rauli con corteza mostraron para este ensayo los valores más bajos de flexión. Sin embargo, al observar la Figura N° 3 se aprecia que las resistencias de todas las especies superan ampliamente al valor mínimo exigido por la norma DIN 68763 (19 Nmm<sup>2</sup>).

Al analizar los valores medios de flexión y sus desviaciones estándar, se comprobó que los tableros fabricados con fenolformaldehido tuvieron un comportamiento homogéneo en este ensayo. Los coeficientes de variación no superan un 16% de los promedios estándar, lo que significa que en la variabilidad entre las probetas de un mismo tablero, no hubo diferencias de consideración.

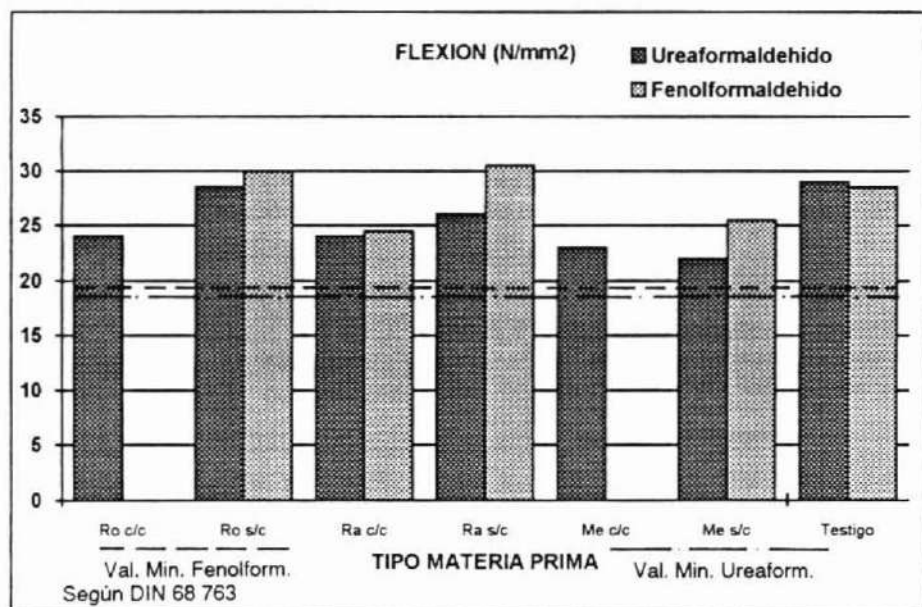


Figura N° 3 VALORES MEDIOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION EN TABLEROS ENCOLADOS CON UREA Y FENOLFORMALDEHIDO

### Resistencia a la Tracción

#### - Tableros Encolados con Ureaformaldehyde

Los valores de resistencia a la tracción perpendicular al plano, revelan que los tableros fabricados con mezcla con corteza, raulí sin corteza y roble sin

corteza, presentan las mejores resistencias promedio. Por el contrario, las materias primas mezcla sin corteza y pino insigne registran los valores de tracción más bajos. Sin embargo, es posible destacar que en todas las especies estudiadas se encontraron valores de resistencia promedio notablemente superiores a los valores mínimos exigidos por la norma DIN 68763 (0,4 Nmm<sup>2</sup>) (Figura N° 4).

Cuadro N° 6

VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE LAS RESISTENCIAS A LA TRACCION CON SUS RESPECTIVAS DESVIACIONES ESTANDAR POR TIPO DE MATERIA PRIMA

Tipos de Materia Prima	Tracción	
	(N/mm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
Roble con corteza (A)	0,778	0,107
Roble sin corteza (B)	0,851	0,085
Rauli con corteza(C)	0,798	0,082
Rauli sin corteza (D)	0,854	0,109
Mezcla con corteza (E)	0,863	0,096
Mezcla sin corteza (F)	0,678	0,095
Pino Isigne (T)	0,726	0,161

Al comparar estos resultados con los obtenidos para flexión, se comprueba que las especies de menor coeficiente de esbeltez presentan valores promedio superiores en el ensayo a la tracción. Esto concuerda con lo observado por Poblete y Peredo (1985), quienes analizaron el comportamiento de tableros de partículas fabricados con astillas de diferente espesor utilizando pino insigne como materia prima.

En relación al efecto de la corteza, se puede observar que en las especies roble y raulí los valores de resistencia obtenidos permiten deducir que existe una influencia negativa sobre la resistencia a la tracción. En todos los casos la resistencia de los tableros donde la corteza no está presente fue superior a la de aquellos tableros donde se incluyó este material.

Para poder determinar si efectivamente existen diferencias significativas entre los testigos y las especies en estudio se realizó un análisis de varianza de acuerdo con la metodología planteada anteriormente.

Cuadro N° 7

DIFERENCIAS ENTRE LAS ESPECIES ROBLE Y RAULI  
EN RELACION A LOS TABLEROS TESTIGOS

Tipos de Materia Prima	Pino Insigne			
	Tracción	Flexión	Hinchamiento	
			2 h	24 h
Roble con corteza (A)	No	Si	Si	Si
Roble sin corteza (B)	Si	No	No	No
Raulí con corteza (C)	No	Si	Si	Si
Raulí sin corteza (D)	Si	No	Si	Si

Respecto a las diferencias encontradas entre las especies roble y raulí en relación a la especie utilizada como testigo, se puede deducir para las propiedades tracción, flexión e hinchamiento, que existe una serie de factores que influyen sobre los resultados del análisis. Estos factores son : la densidad de la madera, el coeficiente de esbeltez, la cantidad de material fino obtenido en la preparación de las partículas y la presencia de corteza y ramas (Cuadro N° 7).

- Tableros Encolados con Fenolformaldehido

Se sometieron a tracción probetas en húmedo y en seco, de un mismo tipo de tablero. Las primeras probetas fueron sometidas a un tratamiento de envejecimiento, el que consistió en sumergirlas durante un tiempo de dos horas en agua a 100°C y posteriormente traccionarlas. Las probetas ensayadas en seco, solamente debieron ser climatizadas antes de proceder al ensayo (Cuadro N°8).

Cuadro N° 8

VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE LAS RESISTENCIAS A LA TRACCION CON SUS RESPECTIVAS DESVIACIONES ESTANDAR EN TABLEROS ENCOLADOS CON FENOLFORMALDEHIDO, POR TIPO DE MATERIA PRIMA

Tipos de Materia Prima	Tracción			
	(N/mm <sup>2</sup> )	DE*	(N/mm <sup>2</sup> )	DE*
Roble sin corteza (B)	0,290	0,020	0,746	0,056
Raull sin corteza (C)	0,277	0,022	0,586	0,085
Raull sin corteza (D)	0,271	0,020	0,690	0,061
Mezcla sin corteza (F)	0,150	0,013	0,626	0,055
Pino Insigne (T)	0,256	0,028	0,576	0,070

En el ensayo de tracción en seco, se observó que el tipo roble sin corteza, es el que registró mayor resistencia (0,746 N/mm<sup>2</sup>). Los demás tuvieron un comportamiento homogéneo para este ensayo y sus resistencias variaron entre 0,576 N/mm<sup>2</sup> y 0,626 N/mm<sup>2</sup>.

Los valores promedios obtenidos reflejan que, en todos los tipos, los valores de resistencia al ensayo de tracción en seco son muy superiores a los valores mínimos exigidos por la norma DIN 68763 (0,4 N/mm<sup>2</sup>).

En relación al ensayo de tracción en húmedo, los resultados indican que roble sin corteza, raulí con corteza y raulí sin corteza, fueron las más resistentes. La mezcla sin corteza presentó el valor más bajo de resistencia, coincidiendo con el valor mínimo exigido por DIN 68763 (Figura N° 4).

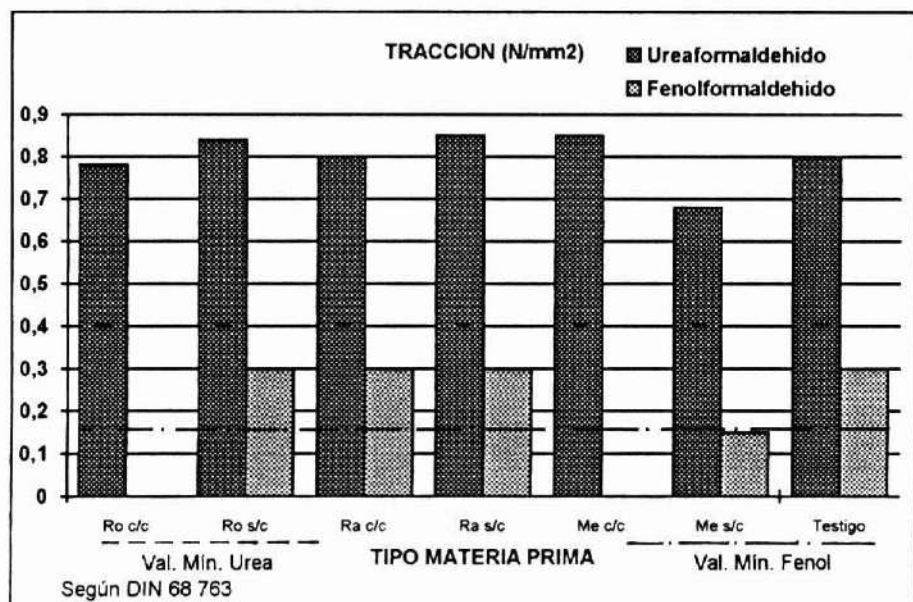


Figura N° 4 VALORES MEDIOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION EN TABLEROS FABRICADOS CON UREA Y FENOLFORMALDEHIDO

Al comparar los tableros fabricados con fenolformaldehido con aquellos elaborados con ureaformaldehido, se puede apreciar que el comportamiento de los tipos no es el mismo. Esta disparidad se debe a factores directamente relacionados con el tipo de adhesivo. Al preparar y dosificar el adhesivo fenólico se presentan algunas dificultades debidas principalmente a que la resina en cuestión corresponde a una formulación para uso en contrachapados y debió ser adaptada para tableros de partículas.

## ASPECTOS GENERALES

El análisis granulométrico de las astillas de las especies roble, raulí y pino insigne, permite apreciar que las astillas de esta última son más homogéneas que las de las otras especies estudiadas, tanto en las astillas finas como en las gruesas, además se pudo apreciar que también son más flexibles que las astillas de roble y raulí.

Las astillas de roble y raulí presentan gran heterogeneidad y son más cortas que las de pino insigne. Además, la presencia de material fino es mayor en comparación con las astillas utilizadas como testigo.

Los tableros de la especie pino insigne encolados con ureaformaldehído presentan los valores más altos para la propiedad mecánica flexión. Esta ventaja del testigo puede explicarse por el coeficiente de esbeltez más favorable de sus virutas.

En el ensayo de tracción ocurre lo contrario, lo cual también se debe a que los tableros confeccionados con especies latifoliadas fueron fabricados con partículas más cortas y más gruesas. En cuanto al hinchamiento, pino insigne se ubica en una posición desfavorable junto con roble sin corteza y sin ramas y mezcla sin corteza y sin ramas, al compararlos con los otros tipos estudiados.

En tableros confeccionados con ureaformaldehído, los tipos pino insigne y roble sin corteza y sin ramas no muestran diferencias significativas. Por el contrario, en tracción, si bien existen diferencias estadísticamente significativas con roble y mezcla sin corteza y sin ramas, los valores que se observan indican que las resistencias son bastante homogéneas.

Para hinchamiento, en tableros confeccionados con ureaformaldehído, también hay diferencias significativas a excepción de raulí sin corteza y sin ramas, pero los valores que se observan presentan homogeneidad, excepto mezcla sin corteza.



## CONCLUSIONES

- El material proveniente de renovales de roble (**Nothofagus obliqua**) y raulí (**Nothofagus alpina**) es apto para la fabricación de tableros de partículas utilizables tanto en interiores como exteriores.
- Los valores de resistencia observados en tableros fabricados con roble y raulí superan los valores mínimos exigidos por las normas DIN, deduciéndose de esto que la materia prima utilizada es adecuada para la fabricación de tableros de partículas.
- La presencia de corteza y ramas afecta negativamente las propiedades físico-mecánicas de los tableros, sin embargo, los valores observados en los tableros fabricados con astillas provenientes de árboles completos superan los valores mínimos exigidos por las normas DIN.
- Al comparar tableros fabricados con ureformaldehído con aquellos confeccionados con fenolformaldehído, se observa que ambos presentan resultados satisfactorios. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para lograr las exigencias mínimas requeridas por las normas DIN, se aplicó en el caso de fenolformaldehído una mayor concentración de adhesivo en relación al peso seco de la madera.
- Algunos problemas de resistencia a la tracción en húmedo e hinchamiento, presentados por tableros encolados con fenolformaldehído, podrían solucionarse aumentando la densidad de los tableros o el porcentaje de adhesivo.
- Se observa que la densidad de la madera y el tamaño de las partículas tiene influencia sobre las propiedades físico-mecánicas. En este caso las especies de menor densidad presentan mejores resultados en los ensayos mecánicos.



## REFERENCIAS

- Chen, T., Paulitsch, M. y Soto, G. 1972.** On the Suitability of the Biological Surface Mass from Spruce Thinnings as Raw Material for Particleboard. *Holz Roh-Werkst.* 30 (1) : 15-18.
- Chen, T., y Paulitsch, M. 1974.** Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeit von Biomasse-Hackshnitzeln. *Mitt. Forst. Forsch. u. Versuchs-Anst. Baden-Wurtt., Heft 62, Freiburg*, pp. 75-104.
- Deppe, H. y Ernst, K. 1982.** Taschenbuch der Spanplattentechnik, 2. Auflage, DRW-Verlag Leinfelden, 480 p.
- Ginzel, W. y Peraza, C. 1966.** Tecnología de Tableros de Partículas. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, 185. p.
- Larmore, F. 1959.** Influence of Specific Gravity and Resin Content on Properties of Particle Boards. *For. Prod. J.* 9 (4): 131-134.
- Muller, H. 1962.** Erfahrungen mit Paraffinemulssionen als Quellschutzmittel in der Spanplatte. *Holz Roh- Werkstoff.* 20: 434-437.
- Peredo, M. 1983.** Zum Einsatz Forstliche Biomasse in der Bauspanplattenherstellung. Dissertation zum Erlangung des Doktorgrades. Forstliche Fakultät. Georg-August Universität, Göttingen, 202 p.
- Poblete, H. y Peredo, M. 1985.** Utilización de Material Proveniente del Manejo Silvopastoral en la Fabricación de Tableros de Partículas. In: Simposio *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Tomo II. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. pp. 220-240.
- Post, P. 1958.** The Effect of Particle Geometry and Resin Content on Bending Strength of Oak particleboard. *For. Prod.J.* 8 (10): 317-322.
- Roffael, E. y May, A. 1983.** Paraffin Sizing of Particle-Boards: Chemical Aspects. Fraunhofer Institute for Wood Research (WKI) Technical University Braunschweig, Federal Republic of Germany. pp. 283-295.

## RESUMEN

Se muestran las siguientes investigaciones realizadas sobre algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium* CLOS) :

- a) Producción de frutos y taninos en ejemplares naturales
- b) Ensayos de reforestación por siembra directa y plantación.

Se observó una alta variación en la producción de fruto en los arbustos, la que depende fundamentalmente de la cantidad de lluvia caída en el invierno previo a la maduración. En promedio se puede estimar una producción de 400 g de fruto con un 70% de contenido de taninos por ejemplar. A pesar de las condiciones extremadamente áridas del medio ambiente, se obtuvo alguna respuesta positiva en ensayos de siembra directa. Los mejores resultados se obtienen con una preparación intensa de suelo (escarificación hasta 20 cm de profundidad), "mulching", un riego mensual y control de roedores. Para intentar la forestación con esta especie debe hacerse un control específico del hongo (*Fusarium oxysporum*) en la producción de plantas.

**Palabras clave:** Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium*), Zonas Áridas, Taninos Vegetales.

## ABSTRACT

The following researches on Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium* CLOS) are shown.

- a) Fruit and tannin production per shrub
- b) Afforestation trials

A high variability is obtained in the fruit production from shrubs which basically depends on the previous winter rainfall. Approximately 400 g of dry weight fruit are produced per shrub with a tannin content of about 70%.

Despite the harsh environmental conditions, some response to sowing was obtained with an intensive soil preparation (scarification down to 20 cm), mulching, a monthly irrigation and a rodent control. In plantation attempts, a special treatment must be carried out in seedling production to control *Fusarium oxysporum* fungi.

**Key words:** Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium*), Arid Zones, Vegetal Tannins.

## INTRODUCCION

Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium* CLOS) arbusto leguminoso (Familia Caesalpinaceae) nativo de la zona norte de Chile (28°- 29°50' L. S.), fue en el pasado un recurso muy importante como materia prima para la obtención de curtientes vegetales. El contenido de taninos en el fruto es reconocido como de alta calidad para el curtido (Howes, F.N., 1953; INFOR, 1986). Entre los años 1944 y 1964 se exportaron en promedio 234 toneladas de fruto por año, esta cifra fue progresivamente decreciendo en el período, fluctuando las exportaciones anuales entre 1.300 t/año en su inicio y 1 t/año a su término (Banco Central, Anuarios Exportaciones 1944-1966).

La especie ha sido sometida también a una fuerte explotación para aprovechamiento de leña y carbón (Ortíz, G. 1943; Escobar, A., 1946) y su existencia actual es limitada. El uso de taninos de algarrobilla es de alto interés para el curtido y es importante destacar que Chile importa alrededor de 1.588 t de taninos vegetales al año, por un valor de dos millones de dólares (Banco Central de Chile, listados importaciones 1980-1985). En la actualidad hay al menos dos industrias importantes en el país que usan tanino de algarrobilla, pero un mayor uso estaría limitado por la disponibilidad de la materia prima.

Esta especie ha logrado adaptarse a un medio árido riguroso, con precipitaciones anuales inferiores a 100 mm y, considerando su valor, podría ser una alternativa interesante recuperar este recurso en estas áreas. Debido a las condiciones extremas del medio ambiente, la repoblación con esta especie es muy difícil y no existen mayores informaciones sobre intentos de forestación, salvo algunas experiencias aisladas en el pasado (Ortíz, G., 1943).

El presente artículo muestra investigaciones realizadas por INFOR sobre este recurso, en relación a la producción de frutos y por lo tanto de taninos, así como a la posibilidad de forestación con esta especie.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos de este estudio son :

- a) Cuantificación y caracterización de la producción de frutos y taninos que pueden entregar ejemplares de algarrobilla.
- b) Posibilidades de repoblación con algarrobilla en un lugar representativo de su habitat natural.

## **METODOLOGIA Y RESULTADOS**

### **Producción de Frutos y Taninos de Algarrobilla**

Se efectuó un estudio de producción de fruto, atendiendo al tamaño del ejemplar, la procedencia, la variación en dos a tres años consecutivos y el contenido de taninos de muestras de fruto procedentes de diversos lugares de crecimiento.

En los meses de enero de 1985 y 1986 se efectuaron mediciones en ejemplares de algarrobilla y cosecha de fruto en 11 lugares de procedencia, en las Regiones III y IV ( $28^{\circ}11'$  a  $29^{\circ}26'$  L. S.) (Figura N°1).

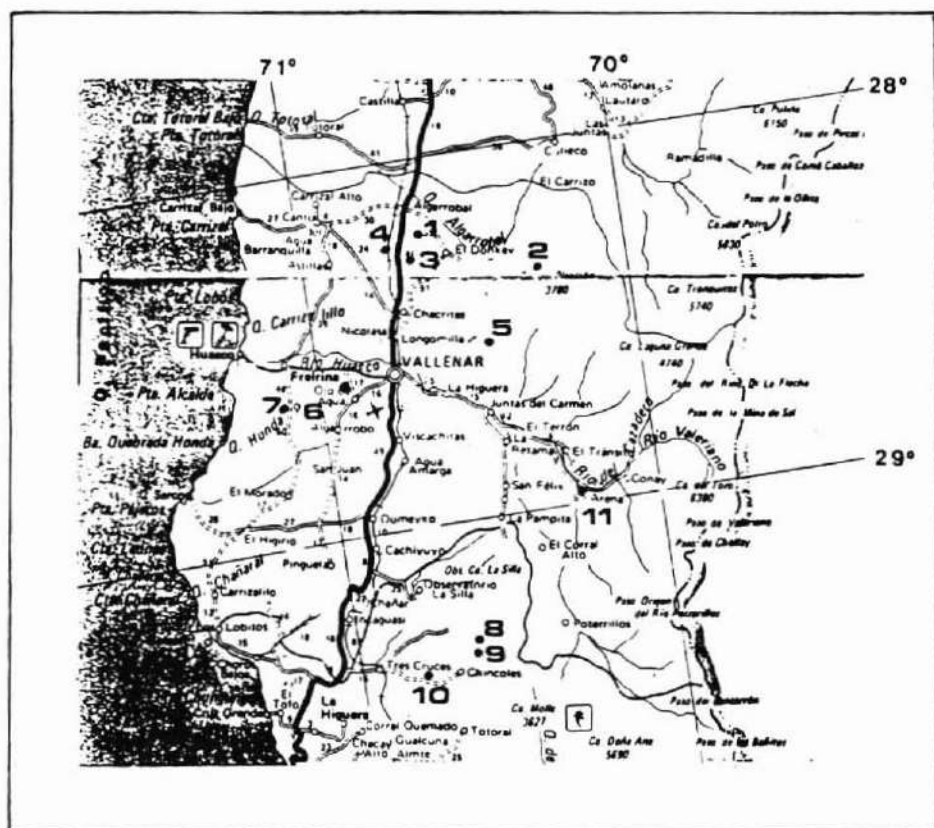


Figura N° 1 UBICACION PROCEDENCIAS DE ALGARROBILLA (1 A 11)

Los resultados de producción promedio por ejemplar según año de observación se muestran en el Cuadro N°1, en el que se incluye también un muestreo preliminar del año 1986. Se puede observar que en el verano de 1986, después de un invierno seco, la producción de fruto fue menor. Por otra parte, la variación de la producción entre ejemplares es alta, lo que se constata en el amplio rango que registran los límites de confianza.

Cuadro N° 1

PRODUCCION PROMEDIO DE FRUTOS POR EJEMPLAR DE ALGARROBILLA

Año Observación	Lluvia caída en Invierno Previo a la Epoca de Medición (mm) **	Producción de Fruto * Peso Seco (g)	
		Promedio por Arbusto	Límites de Confianza (95% prob.)
1984	62,9	697	± 252
1985	124,9	942	± 200
1986	29,4	218	± 91
Promedio 3 años		585	

(\*) Semilla incluida

(\*\*) Fuente : Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea de Chile.  
Datos de Vallenar.

Se estimaron funciones de producción para el conjunto de procedencias y para zonas de procedencias. Debido a la alta dispersión de la producción por ejemplar, solamente se obtuvo una regresión confiable, que corresponde a la observada en las procedencias de la precordillera de la IV Región (procedencias 8 y 9 en Figura N°1) y que es :

$$P = -34,20 + 53,35 D^2H \quad (R^2 = 0,89)$$

en que :

P = Producción de fruto con semilla (peso seco)

D = Diámetro de copa del arbusto

H = Altura del arbusto

Estas procedencias presentan los ejemplares de mayor producción, el rendimiento estimado para un arbusto de tamaño medio (diámetro de copa 3,2 m y altura 1,7 m) es más del doble en comparación con las procedencias observadas en la III Región.

El análisis de contenido de taninos se realizó usando el método de Löwenthal - Schroeder y los resultados del análisis muestran para el fruto sin semillas (pericarpio) un contenido de 61,3 a 78,5%, con una cantidad media de extraíbles totales de 91,7%. El pericarpio presenta un contenido de taninos en promedio 11% superior al del fruto completo ( semillas incluidas), lo que indica un contenido prácticamente nulo de taninos en la semilla. La muestra del lugar

más costero (Freirina) presentó el contenido menor de taninos.

A pesar de la alta variabilidad de la producción, puede estimarse en forma conservadora que en promedio un ejemplar produce, en un año de lluvia normal, alrededor de 400 g peso seco de fruto ( semilla exluida ). Esto significa unos 300 g de extracto de taninos, según ensayos preliminares de producción artesanal realizados en el laboratorio de INFOR. Es interesante anotar que los residuos de semilla dificultan el proceso de elaboración, debido a las sustancias gomosas que contienen. El extracto se secó en un equipo semiindustrial tipo "spray" en INTEC (Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Filial CORFO).

### Reforestación con Algarrobilla

Sobre la base de una experiencia del año anterior, en Junio de 1986 se realizó un ensayo de siembra directa y se estableció una plantación experimental en la hacienda "La Totorá" (28°36' L.S., 71°06' L. W.; 625 m de altitud; lugar de procedencia N°7 ) ( Figura N°1).

En ensayo de siembra directa se efectuó utilizando un diseño de bloques al azar con 5 repeticiones. La unidad experimental es un grupo de cuatro casillas de siembra de 50 x 50 cm.

Se aplicaron ocho tratamientos, que corresponden a dos intensidades de preparación de suelo y tres frecuencias de riego. Todos los tratamientos incluyeron dos riegos de establecimiento (Junio y Agosto de 1986) y los tratamientos frecuencias de riego incluyeron riegos adicionales entre Octubre de 1986 y Marzo de 1987. (Wrann, J y Barros, D. 1987). Se agregó una variable adicional, consistente en la incorporación de un polímero absorbente de humedad (comercialmente conocido como hydrogrowth) en la tasa de siembra, para ambas intensidades de preparación de suelo. Este tratamiento en ambos casos recibió riego cada tres meses.

En cada casilla se aplicó "mulch", que consistió en una mezcla de suelo con paja de trigo de alrededor de 3 cm de profundidad y hasta 3 cm sobre la superficie de la casilla.

Los resultados se entregan en el Cuadro N° 2, mostrando la sobrevivencia después de la primera temporada, a los 9 meses de edad (Wrann, J. y Barros, D., 1987), y pasados los dos años después de la siembra (edad 27 meses). El



crecimiento entre ambas edades fue prácticamente nulo, determinándose alturas promedio de 4,4 cm a 6,0 cm según el tratamiento.

Cuadro N° 2

RESULTADOS SIEMBRA DIRECTA ESTABLECIDA EN 1986

Tratamiento	Edad 9 meses			Edad 27 meses			
	Plantas Vivas		Casillas con Plantas Vivas (%)	Plantas Vivas		Casillas con Plantas Vivas (%)	
	(%)	(1)		(%)	(1)		
<b>Preparación Intensiva del Suelo (2)</b>							
Riego cada 3 meses	IF <sub>1</sub>	84	(10,5)	80	61	(7,6)	75
Riego cada 2 meses	IF <sub>2</sub>	152	(19,0)	80	106	(13,2)	75
Riego cada 1 mes	IF <sub>3</sub>	187	(23,4)	95	149	(18,6)	95
Absorbente de agua (4)	IH	95	(11,9)	60	73	(9,1)	50
<b>Preparación Moderada de Suelo (3)</b>							
Riego cada 3 meses	MF <sub>1</sub>	128	(16,0)	80	108	(13,5)	75
Riego cada 2 meses	MF <sub>2</sub>	84	(10,5)	50	65	(8,1)	50
Riego cada 1 mes	MF <sub>3</sub>	68	(8,5)	70	68	(8,5)	70
Absorbente de agua	MH	60	(7,5)	45	26	(3,2)	30

- (1) Entre paréntesis se entrega el porcentaje de plantas obtenidas en relación al número de semillas con capacidad germinativa.
- (2) Escarificación hasta 20 cm de profundidad
- (3) Escarificación hasta 5 cm de profundidad
- (4) Hydro Growth (nombre comercial) Polímero absorbente de agua (10 gr/casilla). El Riego se realizó en período seco

Las respuestas a la siembra directa son bajas si se comparan las plantas resultantes con el número de semillas potencialmente germinables de cada tratamiento. Estos resultados eran previsibles considerando las condiciones ambientales extraordinariamente difíciles.

El tratamiento con el mejor resultado muestra una producción promedio de 7 plantas por casilla ( $IF_3 = 149$  plantas en 20 casillas de siembra). Por otra parte, en este tratamiento, 19 de las 20 casillas presentan plantas vivas. En una forestación, el establecimiento de una sola planta por casilla sería suficiente para asegurar la repoblación.

La siembra directa no puede recomendarse aún a gran escala en terrenos de secano de la zona, no obstante pueden anotarse ciertos logros alentadores, considerando las condiciones de extrema aridez del medio. Los factores que inciden en una respuesta más favorable son los siguientes.

El mejoramiento con mulch es de gran importancia. Esto quedó demostrado en un ensayo de siembra preliminar establecido en 1985 y lo recomiendan algunos autores (Goor y Barney, 1976).

El control de roedores es necesario, lo que corroboran varios autores (Mc Minn, 1970; Burns y Reynolds, 1975; Goor y Barney, 1976).

La siembra se efectuó en casilla de 50 x 50 cm, escarificadas hasta 20 cm y hasta 5 cm de profundidad según tratamiento, con semillas pretratadas con ácido sulfúrico. Los tratamientos de riego se deben aplicar dentro del período seco y se trata de riego inicial, es decir solo durante el primer año. El riego aplicado es de 8 litros por casilla en cada oportunidad.

El ensayo de plantación se estableció junto al de siembra en la misma época. Se consideraron cinco tratamientos, consistentes en aplicación de fertilizante, incorporación de hydrogrowth, dos frecuencias de riego y un testigo. Con la excepción de los tratamientos frecuencias de riego, los restantes tratamientos incluyeron un riego base de 4 litros por planta al momento de la plantación y dos riegos adicionales semejantes en los meses de Agosto y Octubre del mismo año. Las frecuencias de riego contemplaban aplicaciones mensuales y bimensuales durante todo el primer período seco. Sin embargo, una alta mortalidad inicial obligó a replantear los tratamientos, dejando sólo dos: con y sin fertilización, dispuestos en un diseño de bloques con tres repeticiones. La unidad experimental es de dos parcelas, originalmente de 20 plantas cada una. A las plantas fertilizadas se les aplicó una mezcla de NPK : 50 g de Superfosfato Triple (20,1% P), 50 g de Sulfato de Potasio (50% K) y 110 g de Urea (46% N), por planta.

Pasado dos años desde la plantación (medición en Septiembre 1988) los resultados son los que indica el Cuadro N° 3.



Cuadro N° 3  
RESULTADOS A LOS 2 AÑOS DE EDAD

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Diámetro (D) Basal Prom. (cm)	Altura (H) Promedio (cm)	Índice de Crecimiento (D <sup>2</sup> H) (cm <sup>3</sup> )
Sin Fertilizante	27,5	0,7	19,5	58,4
Con fertilizante	34,2	0,7	21,1	96,8

Las plantas recibieron un riego inicial, al plantar y en el mes de Agosto y, posteriormente, uno mensual desde Octubre hasta Marzo del primer año y de Noviembre a Febrero del segundo año (4 litros por planta).

La producción de plantas en vivero presentó serias dificultades debido al ataque del hongo *Fusarium oxysporum*, que se manifestó a partir del tercer mes de edad de las plantas. Es probable que la mortalidad inicial en terreno se deba a la evolución de esta infección. En el intertanto se ha investigado con buenos resultados el modo de producir plantas sanas (Montenegro, G. y Arce, P., 1987).

## RECONOCIMIENTO

Estas investigaciones se llevaron a cabo como parte del Proyecto sobre Taninos Vegetales, financiado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Gobierno de Canadá (CIID).

Participaron además los Ingenieros Forestales Sres. Daniel Barros, Patricio Rojas, Manuel Arriagada y el Técnico Forestal, Sr. Rogers Carrasco. El Ingeniero Químico Sr. Ramón Rosende realizó los análisis de contenido de taninos y prueba de extractos ayudado por la Sra. Verónica Olivares, Lic. en Química.

**BIBLIOGRAFIA**

- Burns, R. and Reynolds, R., 1975.** Planting Dates for Longleaf, Slash and Sand Pine Seeds in the South Eastern Sandhills. Effect of Temperature and Rainfall. USDA Forest Service. Research Paper SE-143. 17 p.
- Escobar, S.A., 1946.** Contribución al Estudio de la Algarrobilla. Tesis, Universidad de Chile, Fac. de Agronomía. Santiago, Chile. 26 p.
- Goor, F.N. and Barney, C.W., 1978.** Forest Tree Planting in Arid Zones. 2nd ed, New York, The Ronald Press Co. 504 p.
- INFOR (Instituto Forestal), 1986.** Informe Anual Proyecto Taninos. Informe Interno para CIID.
- Hoves, F.N., 1953.** Vegetable Tannin Materials. London, Butterworths Scientific Publications. 325 p.
- Mc Minn, J.W., 1970.** Optimum Depth and Seasons for Sowing Slash Pine in South Florida. USDA Forest Service. Research Paper, SE-73. 7 p.
- Montenegro, G. y Arce, P., 1987.** Producción de Plantas de *Balsamocarpon brevifolium* (Algarrobilla). Informe para INFOR, Instituto Forestal, Santiago, Chile. 14 p.
- Ortiz, G.J., 1943.** La Algarrobilla, Valioso Arbusto Industrial de la Región Norte. Revista Simiente (Chile) 13 (1) : 36-39.
- Wrann, J. y Barros, D., 1987.** Ensayos de Reforestación por Siembra Directa con Algarrobilla (*Balsamocarpon brevifolium* CLOS) en la Zona de Vallenar. Ciencia e Investigación Forestal, Vol. 1 N° 2 (p. 45-55).

# 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/ha/año, mientras que las de coihue alcanzan entre 21 y 26 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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



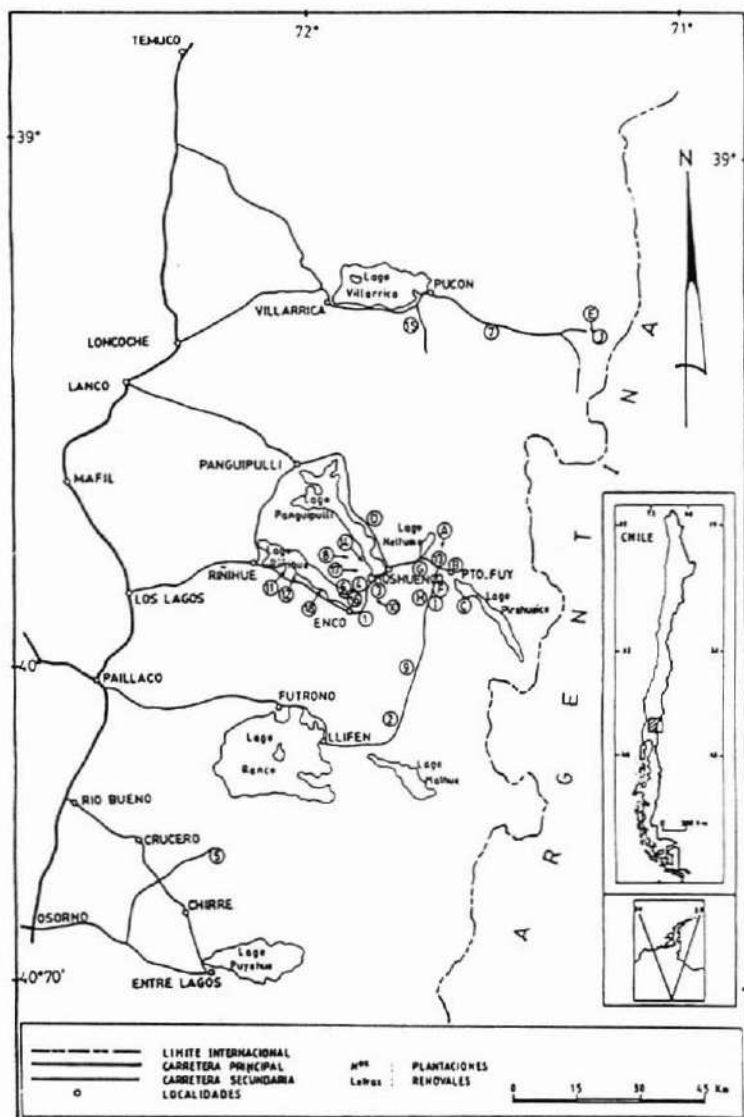


Figura N°1. UBICACION DE PLANTACIONES Y RENOVALES MUESTREADOS

## 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).

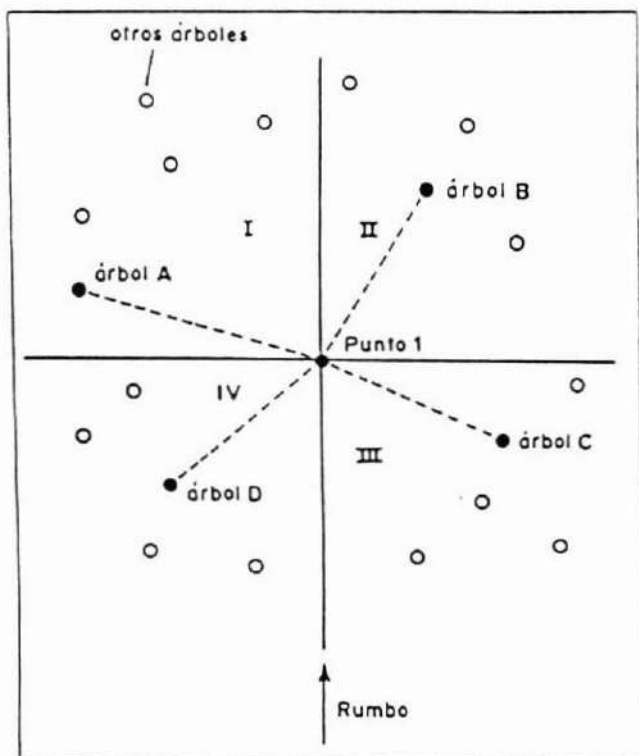


Figura N°2 ESQUEMA DE MEDICION EN MUESTREO PUNTUAL

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).

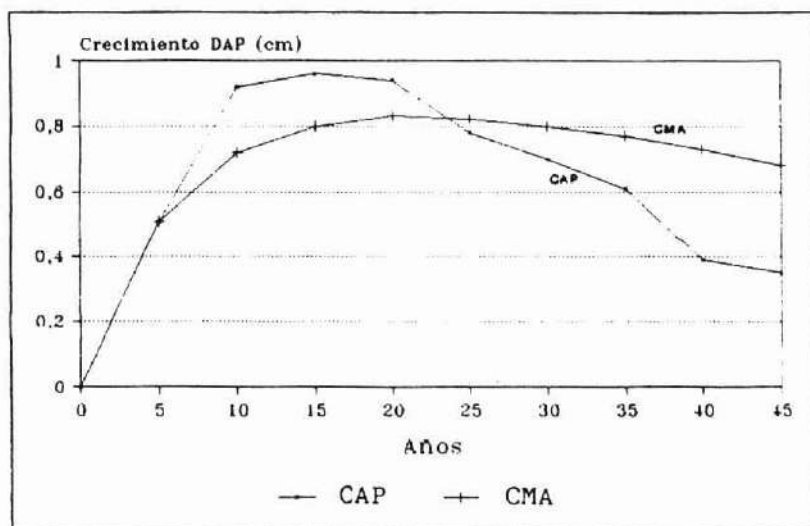
### - Medición e información recogida de cada tarugo

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):

$$\text{Raulí } V = 0,03655 + 0,00002 (\text{DAP})^3 \\ (\text{Nothofagus alpina}) \quad n = 75; r = 0,94$$

$$\text{Coihue } V = -0,05476487 + 0,00073611 (\text{DAP})^2 \\ (\text{Nothofagus dombeyi}) \quad n = 50; r = 0,98$$

$$\text{Roble } V = -0,03695309 + 0,00075407 (\text{DAP})^2 \\ (\text{Nothofagus obliqua}) \quad n = 50; r = 0,98$$

$$\text{Tepa } V = -0,04220197 + 0,00067576 (\text{DAP})^2 \\ (\text{Laurelia philippiana}) \quad n = 50; r = 0,97$$

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., comn 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
						Rauli	Roble	Coihue	Tepa	
Remeco	A	350	O	700	10-40	<u>62,5</u>	<u>25,1</u>	0,0	12,4	INC.
Pidihuil	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 <sup>2</sup> /ha)	Altura Media (m)	Volumen Bruto (m <sup>3</sup> /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
	Pidiñuil	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 períodos 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

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.	G	0,61	0,79	0,88		0,97	0,88	0,85	1,03	8-12	1,07	9	14
	Nothofagus		0,51	0,42	0,33	0,42	0,50	0,47	0,50	0,47	11-15	0,57	5	11
	Tepa		0,51	0,73	0,88	0,90	1,02	0,82	0,86	1,14	7-11	1,15	8	14
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	
						1er Raleo		2º Raleo	Periodo Máx. Crecimiento Post Raleo			
	0 a 10 años	11 a 20 años	21 a 30 años	31 a 40 años	Últimos 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 aumenta 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 del 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 renoval	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 <sup>3</sup> /ha/año		-		-		11,02 m <sup>3</sup> /ha/año
	C.A.P. * VOL. BR.	-		-		-		14,99 m <sup>3</sup> /ha/año
2	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
	A. Basal	31,87	18,48	33,87	19,95	28,92	24,10	36,08
	C.M.A. + VOL. BR.	6,93 m <sup>3</sup> /ha/año		8,77 m <sup>3</sup> /ha/año		8,98 m <sup>3</sup> /ha/año		10,07 m <sup>3</sup> /ha/año
	C.A.P. * VOL. BR.	-		15,38 m <sup>3</sup> /ha/año		18,98 m <sup>3</sup> /ha/año		22,30 m <sup>3</sup> /ha/año
3	Edad	30	30	40	40	50	50	60
	Densidad	1.285	700	700	400	400	250	250
	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 <sup>3</sup> /ha/año		8,36 m <sup>3</sup> /ha/año		10,56 m <sup>3</sup> /ha/año		12,20 m <sup>3</sup> /ha/año
	C.A.P. * VOL. BR.	-		17,31 m <sup>3</sup> /ha/año		19,38 m <sup>3</sup> /ha/año		20,44 m <sup>3</sup> /ha/año

Al observar el Cuadro N°6, es destacable el hecho que se pueden lograr crecimientos volumétricos cercanos a los 20 m<sup>3</sup>/ha/año, es decir, si los renovales siguen siendo sometidos a raleos, en 30 años más se habrán producido 600 m<sup>3</sup>/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 Raulí	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 raulí más viejas existentes en el país.

El análisis se hizo segregando las plantaciones según especie, para lo cual se analiza por separado coihue de raulí y roble, siendo estas dos últimas analizadas en conjunto. Para raulí 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 ésto 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.



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 <sup>2</sup> /ha)	Alt x (m)	Vol. BR (m <sup>3</sup> /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
Palguín	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 m<sup>3</sup>/ha/año versus 14 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente). A nivel de renovales, 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	
			DAP	Alt	A. BAS	Vol BR	0-10	11-20	U5A+	Raleo (años)	
			(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	-
Rucatayo	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		
		Ul	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 <sup>2</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/ha/año, son superiores a los observados en raulí y roble, que alcanzan entre 12 y 17 m<sup>3</sup>/ha/año, al comparar plantaciones de similar edad y densidad.
- Al comparar una plantación de raulí puro y otra mixta de raulí-roble-ulmo, 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-CHI/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/CHI/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.



# LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN VENEZUELA : UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACION DE AREAS CON CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA. Angel Infante. Ingeniero Forestal, MSc. en Ordenación Territorial. Instituto Forestal Venezolano (IFLA), Mérida, Venezuela.

## RESUMEN

*Las actividades agroforestales nacen como una alternativa ante los problemas del manejo adecuado de las tierras en las regiones tropicales del mundo y, por lo tanto, comienzan a incorporarse en la planificación regional. En este Apunte se presenta una visión general acerca de la incorporación de los sistemas agroforestales en las líneas de investigación en Venezuela, como un aporte de soluciones para atenuar los conflictos de uso en algunas regiones representativas del país.*

## INTRODUCCION

En Venezuela existe gran diversidad de zonas de vida donde se pueden estudiar los sistemas y técnicas agroforestales, bien sean tradicionales o aquellos que se implanten dentro de proyectos específicos.

La investigación en el campo agroforestal se considera que está en sus inicios, pero existe un profundo interés por el desarrollo de estas técnicas, principalmente cuando en el país se tienen áreas donde los conflictos generados por el uso de la tierra tienden a agravarse y a retardar las soluciones.

Los esfuerzos actuales se encaminan a identificar, caracterizar y evaluar, ecológica y financieramente, los sistemas agroforestales existentes, para derivar de ellos resultados que permitan seleccionar alternativas de mayor producción e ingresos para los productores.

Además, en Venezuela como en otros países tropicales del mundo, las prácticas agroforestales se han aplicado desde tiempos muy remotos. Es



relativamente poco lo que se conoce de la racionalidad económica, ecológica y social de estos sistemas de producción.

Tal como lo afirman Plonczak y otros (1993), estas indefiniciones legales se refieren a la tenencia de la tierra, los objetivos de producción, el mercado y la comercialización de los productos provenientes de los sistemas agroforestales y la distribución de los beneficios generados.

## ANTECEDENTES

En Venezuela existen numerosos sistemas agroforestales establecidos que no han sido evaluados, o que simplemente no han sido reconocidos como tales. Sin embargo, ya se han establecido varios ensayos con esta visión, como son entre otros: los silvoagropecuarios y silvopastorales de la Reserva Forestal de Caparo (Luna y otros, 1978 citado por Plonczak, 1985), los silvoagropecuarios del CENAIAP en Barlovento (Estado Miranda), en El Tigre (Estado Anzoátegui) y en el Estado Amazonas (Escalante, 1981 citado por Plonczak, 1984) y algunos ensayos, también de carácter silvoagropecuario, en Upata.

Por otra parte, el Estado está dando los primeros pasos para incorporar los sistemas agroforestales en la planificación y desarrollo de diferentes regiones del país. Se han establecido proyectos agrosilvopastorales en Cazadero (Estado Táchira), Carache-Burbusay (Estado Trujillo), en tierras áridas y semiáridas de la región centro-occidental del país y en la Reserva Forestal La Paragua, en el Área de Periquera (Estado Bolívar).

Se presentan a continuación algunos estudios de caso donde la aplicación y desarrollo de los sistemas agroforestales son alternativas importantes para aportar soluciones a los conflictos presentes.

## ESTUDIOS DE CASO

### Zona Sur del Lago de Maracaibo

Los cambios de política económica que ha tenido el país han distorsionado el desarrollo del Sur del Lago de Maracaibo, el cual se destaca por su gran vocación agropecuaria, pues aporta al país: leche, carne, plátano, cambures y frutales, por tal motivo la Universidad Sur del Lago está promoviendo nuevas opciones de desarrollo agrícola que permitan la recuperación del sector (Rincón E., Uzcátegui, A. y Hernández A., 1993).

En esta zona es importante destacar que la ampliación de la frontera agrícola para pastizales está disminuyendo la cobertura boscosa en el área de piedemonte andino.

Las nuevas alternativas van dirigidas a la diversificación de la producción y a destacar el papel predominante de las especies forestales, motivo por el cual se están identificando los sistemas agroforestales tradicionales de la región para obtener de ellos elementos claves en el mejoramiento de los mismos o para la puesta en práctica de nuevos sistemas de esta índole.

Actualmente lo que se busca es la integración de actividades ganaderas, agrícolas y forestales. En esta zona existen unidades de producción donde se involucra el manejo de árboles y arbustos, de escaso aprovechamiento, en asociación estratificada con cultivos agrícolas, teniendo la actividad pecuaria la mayor importancia.

Los productores han buscado aprovechar las ventajas de la producción diversificada, pues al disponer de mano de obra preparada y en un esfuerzo por conservar los suelos, se mantienen bancos de germoplasma que incluyen muchas especies útiles de árboles y arbustos, que paulatinamente han venido desapareciendo debido a la tala indiscriminada, más no la quema, práctica que ha dejado de tener vigencia (Rincón E. Uzcátegui A. y Hernández A., 1993).

Para mantener los suelos se usaron especies forrajeras como guinea (*Panicum maximum*) y cabezona (*Paspalum virgatum*), las cuales lo mejoran, ya que recientes en cuanto a desarrollo pedogenético. Los intentos para establecer en forma permanente actividades agrícolas (cultivos anuales) como el maíz (*Zea mays*) han fracasado debido a fallas en el manejo

agroecológico de los suelos.

Ante esta crisis regional, surge la necesidad de emplear nuevas alternativas para lograr la diversificación de la producción y para esto se deben emplear las especies arbóreas incorporándolas como elementos integradores de los sistemas de producción.

La incorporación de especies arbóreas al sistema de producción debe contemplar la siembra de especies que suministren alimentos a la población y la promoción de especies maderables para todos los usos, incluyendo el de construcción y los fines domésticos (confección de utensilios y herramientas). Se deben estimular también otras actividades económicas que utilicen madera, como: leña para procesar alimentos ahumados, energía para la industria del tabaco y de otros productos menores; frutos (para humanos y animales); miel; abonos (hojarasca) y otros.

### Reserva Forestal El Caura (Estado Bolívar)

Al sur de Venezuela, en la Reserva Forestal El Caura, existen problemas de ocupantes en la reserva, en el sitio llamado El Guaratoro. Por tal motivo, se diseñó un experimento agroforestal para solucionar el problema de la ocupación anárquica de los campesinos dentro de la reserva, pues el Ministerio del Ambiente Forestal Venezolano hace presencia en esta zona y a la vez adquiere experiencia en una de las soluciones más viables de los problemas, la combinación de la plantación de árboles con los cultivos tradicionales de los ocupantes (Arellano G., Escalante E., y Boscan L., 1993).

Este experimento tendrá una utilidad como parcela demostrativa para los demás ocupantes, en sectores como La Luisa, La Zamura, Tatuco y la Reforma, para el cultivo tradicional de ñame (*Dioscorea sp.*), cacao (*Theobroma cacao*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), entre otros y plantaciones de árboles comerciales.

Con este experimento se persiguen los siguientes objetivos:

- Sentar la presencia del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), a través del Servicio Forestal Autónomo Venezolano (SEFORVEN) en la Reserva Forestal El Caura.

- Demostrar que existe compatibilidad entre la siembra de cultivos agrícolas y la plantación de árboles forestales comerciales.
- Recuperar áreas invadidas y detener nuevas invasiones.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Establecer un experimento agroforestal que permita comparar el crecimiento de las especies cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y pardillo (*Cordia alliodora*), en combinación con el cultivo tradicional del ñame (*Dioscorea sp.*).
- Establecer un experimento con caoba y comparar el rendimiento usando varios métodos de siembra intercalada de la especie ñame.

### Reservas Forestales de Ticoporo y Caparo (Estado Barinas)

Estas reservas han sido sometidas a un proceso de ocupación y deforestación progresiva para cederle paso a las actividades agropecuarias. Este problema plantea la necesidad de un manejo forestal integral, que permita recuperar el uso para el cual estas reservas fueron decretadas como tales por el Estado.

El problema se caracteriza por un proceso de invasiones que dificulta las labores de ordenación y manejo forestal, conduce a la destrucción del bosque natural para dar paso a actividades agropecuarias y al deterioro ambiental, implica una escasa participación de los campesinos locales en la conservación y manejo del bosque productivo, condiciona precarios niveles de calidad de vida de la población local, sufre intereses sociopolíticos que ponen obstáculos a la gestión del Estado Venezolano en materia forestal y ambiental.

La incorporación de los ocupantes de las reservas forestales a las prácticas agroforestales puede contribuir a la solución del problema de las invasiones, pero no deben descuidarse aquellas áreas destinadas a la producción agrícola o ganadera, donde también se puede integrar el componente arbóreo.

Dentro del Programa de Recuperación de las Reservas Forestales de Ticoporo y Caparo (Estado Barinas), el Servicio Autónomo Forestal Venezolano, tomando en cuenta la presencia de ocupantes y su participación

directa en el proceso de recuperación, incluye dentro de las acciones programáticas a seguir los sistemas agroforestales.

El establecimiento de sistemas agroforestales en un porcentaje del área ocupada tiene la finalidad de proporcionar beneficios sociales, ecológicos y económicos a corto, mediano y largo plazo y disminuir la presión social sobre el bosque natural, a través de la incorporación del componente arbóreo en las actividades agropecuarias. SEFORVEN suministrará el material vegetativo y la asistencia técnica y el ocupante aportará la mano de obra y el mantenimiento del sistema (SEFORVEN, 1993).

Al considerar las características biofísicas, geográficas y sociales del Área Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo, se propone que ésta se convierta en un área piloto de desarrollo agroforestal, que servirá de modelo para la recuperación de áreas deforestadas, en condiciones similares, tanto en Venezuela como en otros países tropicales.

### **Cuencas Hidrográficas Altas**

Debe concederse atención especial al desarrollo de estos sistemas en las cuencas hidrográficas altas del país, donde se puede contribuir a la reducción de la degradación y erosión del suelo y a la disminución de la contaminación de las fuentes de agua.

Por último es menester realizar las evaluaciones que permitan la comparación de las ventajas económicas y ecológicas de los sistemas agroforestales ante los sistemas tradicionales de producción. Aunque es importante señalar también que la carencia de tecnología e infraestructura para la conservación de los productos forestales de pequeñas dimensiones generarán estas actividades, como las vías para su comercialización.

En general para todo el país es urgente la formulación de Sistemas Agroforestales dentro del proceso de planificación y ordenación del territorio, enfocándolos como uso de la tierra e incluyendo las necesidades y objetivos, métodos de recolección de información y su evaluación económica y financiera (parámetros: valores netos actuales, relación beneficio/costo y tasa interna de retorno), y de acuerdo con esto, determinar la aplicación del sistema más adecuado.

Por otra parte, en el país deben establecerse centros de investigación para el desarrollo de los Sistemas Agroforestales, idea sugerida por Escalante (1993).

Estos Centros Regionales de Investigación Agroforestal podrían dar respuestas a las diferentes situaciones locales y dar soluciones adecuadas a los problemas relacionados. Al mismo tiempo, debe trabajarse en la identificación, caracterización y perfeccionamiento de técnicas y prácticas ya existentes y al desarrollo de nuevos sistemas para las diferentes actividades agropecuarias y forestales del país, según los objetivos y metas de cada proyecto.

Dentro del desarrollo de los sistemas agroforestales, algunos programas son importantes y se muestran en el Cuadro N°1.



Cuadro N° 1

**PROGRAMA PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS AGROFORESTALES  
EN ALGUNAS REGIONES DEL PAIS**

Problema	Enfoque	Actividades	Posibles Resultados
1. Suelos arenosos, ácidos y de baja fertilidad. Baja calidad de los pastos. Sabanas orientales de Venezuela (Mesa de Guanipa).	Aumentar la calidad de los pastos en algunas áreas. Introducir cortinas rompepavimentos y especies mejoradas de la textura y fertilidad del suelo.	Investigación aplicada. Proyectos pilotos de desarrollo y mejoramiento de razas de animales locales.	Aumento de la productividad. Mayor utilización de las tierras. Generación de empleo.
2. Impacto de la alternabilidad estacional de la lluvia-sequia Sabanas Sur-Occidental Estados Portugueses, Barinas y Apure.	Aminorar el impacto estacional lluvia-sequia. Desarrollar sistemas de manejo para cada una de las posiciones geomorfológicas de banco, bajo y estero.	Proyectos pilotos. Desarrollo de obras hidráulicas para controlar inundaciones.	Aumento del potencial de algunas zonas inundables. Disminución de incendios de vegetación. Mayor rendimiento en la producción de carne. Generación de empleo.
3. Fragilidad de los ecosistemas y suelos amazónicos. Amazonía Venezolana	Desarrollar "Sistemas de Producción Multiestratos Diversificados" que simulen la estructura y función del bosque original. (Uso de plantas nativas)	Plantaciones forestales. Identificación y evaluación de los Sistemas Agroforestales. Participación de las etnias locales en actividades agroforestales	Conservación y aprovechamiento sustentable de ecosistemas frágiles. Aumento del ingreso familiar. Conocimiento de especies agrícolas y forestales prometedoras.
4. Areas degradadas por sobrepastoreo caprino. Limitaciones Agroclimáticas de la Región Zona Árida y Semi Árida de Venezuela (Falcón, Lara, Sucre, Zulia).	Estudiar las plantas forrajeras nativas y exóticas. Desarrollar sistemas de manejo para la ganadería caprina. Énfasis en el componente arbóreo.	Ensayos de rendimiento animal/pasturas y plantas. Estudio de las respuestas del ecosistema a diferentes tratamientos agroforestales dentro del manejo.	Conservación y desarrollo sustentable de zonas áridas. Ordenación y manejo eficiente en ecosistemas de baja productividad. Aumentar los niveles proteínicos humanos y animales. Evitar la extinción de especies.
5. Pérdida de suelos en cuencas hidrográficas altas en los Andes Venezolanos y Cordillera de la Costa y Oriente del país	Investigar los sistemas de producción de café (Coffea arábica) del Piso Húmedo Premontano y Cacao (Theobroma cacao). Conservar los suelos.	Cortinas rompevientos. Cultivos permanentes. Cultivos de cobertura. Cultivos en callejones. Obras de conservación de suelos con la especie Chusquea sp.	Disminución de procesos erosivos. Aumento de la fertilidad del suelo. Disminución de los costos en los insumos agrícolas. Control de inundaciones.

Continúa

Problema	Enfoque	Actividades	Posibles Resultados
6. Deforestación y aumento de la frontera agrícola para fines agropecuarios. Zona sur del lago Maracaibo y Areas de influencia del Piedemonte Andino.	Controlar el avance de la frontera agrícola. Incorporar el componente arbóreo en los sistemas de producción. Aumentar la productividad.	Programas de extensión y promoción. Cultivos y plantaciones forestales. Ensayo de especies de alto rendimiento animal y vegetal.	Disminución de la frontera agrícola. Valoración de los árboles como componentes dentro de los Sistemas Agroforestales. Generación de ingresos a partir del recurso forestal manejado.
7. Invasión de Reservas Forestales y deterioro de las mismas por ocupantes ilegales. Reserva Forestal Ticoporo y caparo (Edo Barinas). Reserva Forestal El caura (Edo. Bolívar).	Recuperar áreas de las reservas forestales con problemas de invasión y estabilizar este proceso.	Implementación del Programa de Recuperación de las Reservas Forestales propuestas por SEFORVEN haciendo énfasis en los Sistemas Agroforestales.	Beneficios económicos y sociales para los campesinos. Recuperar la cobertura boscosa. Diversificación de la producción. Generación de empleo. Mejoramiento calidad de vida. Disminución de pérdida de suelos. Abastecimiento de madera al mercado regional, nacional y otros.

## RECONOCIMIENTOS

El autor agradece al Ing. MSc. Gerardo Rojas (IFLA) por su valiosa ayuda en la revisión de este Apunte y por las sugerencias aportadas.



## BIBLIOGRAFIA

**Arellano G., Escalante E., y Boscan L. 1993.** Proyecto de Investigación Experimental Agroforestal, MARNR. Dirección General Sectorial del Servicio Forestal Venezolano. Reserva Forestal El Caura, Estado Bolívar. Caracas, Venezuela, 9 p.

**Escalante, E. 1993.** Pasado, Presente y Futuro de la Agroforestería en Venezuela. Departamento de Ciencias Agrarias, NURR-ULA Trujillo, Estado Trujillo, Venezuela., 9 p.

**MARNR-SEFORVEN. 1993.** Programa para la Recuperación de las Reservas Forestales Ticoporo y Caparo, Caracas, Venezuela, 21 p.

**Plonczak M. 1985.** La Alternativa Agroforestal en el Sector Noroeste de la Zona Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Centro de Estudios de Postgrado, Mérida, 83 p.

**Plonczak M. y otros. 1993.** Potencialidad de la Facultad de Ciencias Forestales para el Desarrollo de la Agroforestería. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, COMisión Agroforestal, Mérida, Venezuela.

**Rincón E., Uzcátegui A., y Hernández A. 1993.** Identificación de los Sistemas Agroforestales en la Microregión Chama-Capazón. Sur del Lago Maracaibo. Universidad Sur del Lago. Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria. Santa Bárbara, Estado Zulia, 11 p.

**ENERGIA DE FRACTURA: UN CONCEPTO NOVEDOSO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA EN VIGAS CON REBAJE.** Victor Carvallo A. Ingeniero Civil, División Industrias. Instituto Forestal, Santiago, Chile.

### **RESUMEN**

*Se entregan antecedentes respecto a los estudios realizados en el Instituto de Tecnología Lund de Suecia, relacionados con el comportamiento de vigas de madera con rebaje en su extremo ( Gustafsson, 1988 ).*

*Los estudios están inspirados en la diferencia de fundamentos que se encuentra al comparar las fórmulas de diseño convencionales y los resultados teóricos obtenidos mediante fractura mecánica y elementos finitos. Además, se desarrolla una ecuación simple para determinar la resistencia en este tipo de vigas, basada en la teoría de fractura mecánica.*

*Finalmente, se entrega la metodología para determinar empíricamente el parámetro fundamental en el diseño de vigas rebajadas mediante el concepto propuesto: la energía de fractura.*

**Palabras Clave:** Madera, Vigas, Energía fractura, Rebaje.

## INTRODUCCION

Un elemento estructural se caracteriza fundamentalmente por su capacidad para resistir la combinación de cargas o sollicitaciones a las que es sometido. De esta forma, una estructura está compuesta por un número limitado de elementos que, en su conjunto, son capaces de dar a ella la estabilidad adecuada, ponderando por medio del análisis estructural, las tensiones de trabajo y las de diseño para cada pieza y especie en forma individual.

La tensión de diseño se obtiene del producto entre la tensión admisible y los factores de modificación respectivos, de acuerdo a las condiciones particulares de carga y servicio. A su vez, la tensión admisible es el resultado de multiplicar la tensión básica por la razón de resistencia asignada a cada grado específico, con el fin de considerar sus defectos. Por último, la tensión básica se obtiene a través de un análisis estadístico de los valores que resultan de someter a ensayo, bajo distintos esfuerzos, a probetas estandarizadas libres de defectos.

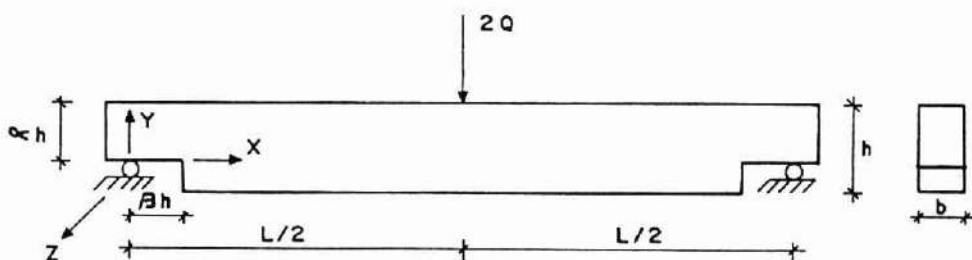


Figura N° 1 VIGA CON REBAJE RECTANGULAR EN LOS EXTREMOS.

Como se puede apreciar, las tensiones de diseño son valores conocidos que los calculistas determinan con la ayuda de textos especializados, por lo que su estimación no representa gran problema.

Al incluir el otro parámetro en cuestión, la tensión de trabajo, el análisis se hace algo más complejo. La tensión de trabajo se define como la carga por

unidad de superficie que expresa el esfuerzo interno real que tiene una sección de un elemento estructural en un momento dado. En consecuencia, se determina mediante las herramientas que entrega la mecánica de estructuras, tomando en cuenta para cada elemento en particular, la combinación de cargas a que es sometido, su sistema de apoyo y su geometría.

De esta forma se pueden individualizar los esfuerzos de trabajo en flexión, compresión, tracción, corte, etc., o sus combinaciones, y confrontarlos con sus similares de diseño, de manera tal que el cociente entre la tensión de trabajo y la tensión de diseño sea menor que la unidad.

Un tipo de elemento considerado como estructural es la viga. Por lo general, el cálculo de las tensiones de trabajo a que una viga está sujeta no representa problemas desde el punto de vista teórico, sin embargo, usualmente y por razones constructivas, una viga puede ser rebajada en uno o ambos extremos, lo que ciertamente representa algún grado de incertidumbre debido a que las fórmulas convencionales para vigas con rebaje no tienen una teoría básica de sustentación. Estas fórmulas son numéricamente diferentes, pero análogas, y entregan la resistencia por simple reducción del esfuerzo de corte de diseño asociado a vigas sin rebaje o normales.

## FORMULAS CONVENCIONALES NORMADAS

La fórmula más conocida para determinar la tensión de trabajo para el esfuerzo de corte máximo, se deriva de la expresión de momento estático o momento de inercia de primer orden. De ahí se deduce que:

$$f_{cz} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{b \cdot h} \quad \text{ó} \quad \frac{Q}{b \cdot h} = \frac{2}{3} \cdot f_{cz}$$

Donde:

- Q = Esfuerzo de corte máximo
- b = Espesor de la viga

$h$  = Altura de la viga

$f_{cz}$  = Tensión de trabajo máxima de corte longitudinal.

Ahora, si la ecuación anterior se expresa considerando el rebaje en la viga como una fracción de la altura, se tiene:

$$\frac{Q}{b \cdot \alpha h} = \frac{2}{3} \cdot f_{cz} \cdot f(\alpha) \quad (1)$$

Donde  $f(\alpha)$  es un factor de reducción que indica la influencia de la concentración de tensiones dependiente sólo de la profundidad del rebaje, frecuentemente  $f(\alpha) = \alpha$

Se puede apreciar además que  $Q$  es proporcional a  $f_{cz}$ .

En el EUROCODE 5 (1987) se encuentra otra ecuación, algo diferente a la (1), la que se usa para el diseño de vigas fabricadas con madera laminada encolada. En esa norma, se aplica un análisis Weibull para determinar el esfuerzo de corte en vigas sin rebaje, con un volumen mayor que  $0,1 \text{ m}^3$ . Así, el esfuerzo de corte se hace dependiente del volumen de la viga. Además, y al igual que en la ecuación (1), la resistencia de una viga con rebaje se toma como una fracción  $\alpha$  - dependiente de la resistencia de una viga sin rebaje.

$$\frac{Q}{b \cdot \alpha h} = \frac{2}{3} \cdot f_{cz} \cdot f(\alpha) \cdot \left( \frac{0,1 \text{ m}^3}{V} \right)^{0,2} \cdot \frac{1}{1 - 2h/L} \quad (2)$$

Donde :

$V$  = Volumen de la viga en  $\text{m}^3$

$L$  = Largo de la viga.

Conjuntamente con el volumen de la viga, el esfuerzo de corte también depende de  $h/L$ , lo que refleja la capacidad de poder incrementar la fuerza de corte si el tramo cizallado es muy corto.

En la norma australiana AS 1720-1975 se entrega una ecuación con fundamentos distintos a las dos anteriores. Dicha ecuación se basa en parte en la teoría de fractura mecánica:

$$\frac{Q}{b \cdot \alpha h} = \begin{cases} \frac{2 \cdot f_{cz}}{\sqrt{h} (1 + 1,2 \cdot \beta / \alpha)} & \text{para } \alpha \leq 0,9 \\ \frac{2 \cdot f_{cz}}{3 \sqrt{(1 - \alpha) \cdot h} \cdot (1 + 1,2 \cdot \beta / \alpha)} & \text{para } \alpha > 0,9 \end{cases} \quad (3)$$

Se deduce que, además de  $\alpha$ ,  $Q/(b \cdot \alpha h)$  depende también de la longitud relativa del rebaje,  $\beta$ , y de la altura absoluta de la viga,  $h$  (en mm).

La ecuación (3) es válida sólo para vigas rebajadas, pues la falla no puede ocurrir para  $\alpha = 1$  dado que  $Q \rightarrow \infty$  cuando  $\alpha \rightarrow 1$ .

En la Figura N° 2 se comparan las tres ecuaciones anteriores mostrando  $Q/(b \cdot \alpha h)$  versus  $\alpha$  para  $f_{cz} = 10$  MPa ( $102$  Kg/cm<sup>2</sup>), en donde se puede apreciar la disparidad de soluciones para un problema similar.

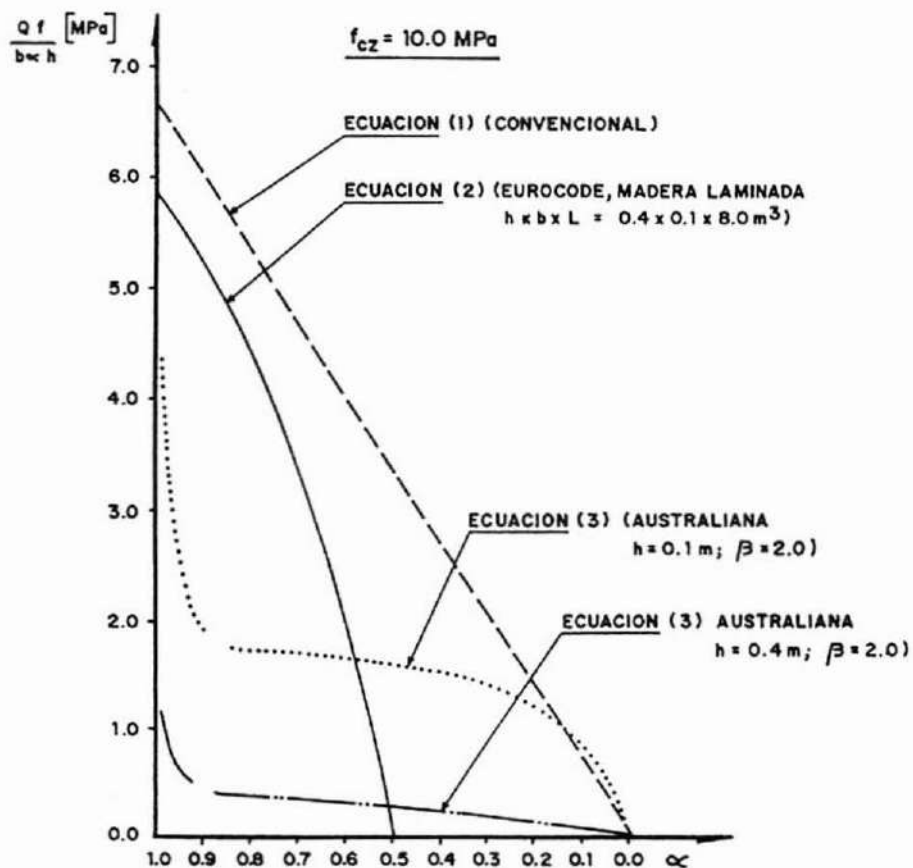


Figura Nº 2 .COMPARACION ENTRE FORMULAS CONVENCIONALES NORMADAS.

## ANALISIS TEORICO

El análisis para ciertos esfuerzos máximos o criterios de resistencia son

difíciles, debido a la singularidad de la tensión en el extremo rebajado de una viga. Por tal singularidad, ninguna teoría Weibull parece dar alguna información significativa (Gustafsson y Enquist, 1988).

Por otra parte, el análisis mediante elementos finitos no es apropiado para el cálculo de este tipo de esfuerzo en un diseño ordinario, debido a requerimientos de simplicidad.

Sin embargo, es factible realizar un análisis teórico mediante fractura mecánica.

### Derivación de Expresiones Básicas

Por consideración de balance de energía es posible obtener una ecuación para determinar la tensión en una viga rebajada (mostrada en la Figura N° 1). Asumiendo que el material es ortotrópico y linealmente elástico y que para una carga externa cero, todos los esfuerzos internos en la viga son también cero, entonces la energía potencial para el sistema carga externa y viga es:

$$W_p = - \frac{1}{2} * Q * \delta \quad (4)$$

Donde :

$\delta$  corresponde a la deflexión en el punto de carga.

Ahora, si para una fuerza constante,  $Q$ , se desarrolla una rajadura de largo  $\Delta X$  desde el extremo rebajado, entonces el cambio de energía potencial,  $\Delta W_p$ , debido al incremento en la deflexión,  $\Delta \delta$ , es:

$$\Delta W_p = - \frac{1}{2} * Q * \Delta \delta = - \frac{1}{2} * Q^2 \Delta (\delta / Q) \quad (5)$$

Además se supone que la rajadura tiene un extremo preciso y que se desarrolla para una fuerza exacta de corte  $Q = Q_f$  cuando la pérdida de energía potencial  $-\Delta W_p$  iguala la energía requerida para formar la rajadura. Esta energía, definida como energía de fractura, depende de las propiedades



del material. Usando la nomenclatura  $G_c$  para denotar energía de fractura/área de la rajadura, se obtiene:

$$\frac{1}{2} \cdot Q_f^2 \Delta(\alpha/Q) = G_c \cdot b \cdot \Delta X \quad (6)$$

La parte de la viga que queda bajo la rajadura se considera inactiva, por lo cual no contribuye a la rigidez. De esta forma, el desarrollo de la rajadura,  $\Delta X$ , equivale a un incremento del largo del rebaje, desde  $\beta h$  hasta  $\beta h + \Delta X$ . En consecuencia, el aumento de la rajadura se puede interpretar como un cambio  $\Delta\beta$  de  $\beta$ . Esto es:

$$\Delta X = h \cdot \Delta\beta \quad (7)$$

Usando esta última igualdad para  $\Delta X \rightarrow 0$ , de la ecuación (6) se obtiene:

$$\frac{Q_f}{b \cdot \alpha h} = \sqrt{\frac{2 G_c}{b \cdot \alpha^2 \cdot h} / \frac{\partial(\delta/Q)}{\partial\beta}} \quad (8)$$

Se debe calcular ahora la deflexión, para obtener  $Q_f$  de acuerdo a la variación de  $\beta$ . En general, la deflexión de la viga se puede separar en cuatro términos:

$$\delta = \delta_l + \delta_Q + \delta_r + \delta_b \quad (9)$$

$\delta_l$  corresponde a la deformación local del material en los puntos de carga y apoyo. Se supondrá constante durante la variación de  $\beta$  y, por ende, no se necesita calcular.

$\delta_Q$  representa la deformación por corte. Para una viga de sección rectangular se obtiene la siguiente variación lineal  $\delta_Q$  en función de  $\beta$ :

$$\delta_Q = \frac{1,2 \cdot Q}{G} \left[ \frac{\beta \cdot h}{b \cdot \alpha \cdot h} + \frac{L/2 - \beta \cdot h}{b \cdot h} \right] \quad (10)$$

Donde :

- G es el módulo de corte del material.
- $\delta_r$  corresponde al efecto elástico que el empotramiento del voladizo  $\beta h$ , ejerce sobre el resto de la viga. Es razonable suponer que esta deformación es proporcional al momento flector,  $Q \beta h$ , y al largo,  $\beta h$ , del voladizo, con lo que se obtiene la variación de  $\delta_r$  en función de  $\beta^2$ :

$$\delta_r = c * Q * \beta^2 * h^2 \quad (11)$$

En apariencia, una elección cómoda sería,  $c = 0$ , sin embargo ello subestimaría la deflexión de la viga. Otra posibilidad mucho más acertada es:

$$c = \frac{12}{b * (\alpha * h)^2} \sqrt{\frac{(1 - \alpha)(1 - \alpha^3)}{10 * G * E_x}} \quad (12)$$

Donde :

$E_x$  es el módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

Por último,  $\delta_b$  representa la deformación normal de la viga, debido a la flexión. La teoría convencional entrega la variación de  $\delta_b$  en función de  $\beta^3$ .

$$\delta_b = \frac{Q}{E_x * b * h^3 / 12} \left[ \frac{L^3}{24} + \frac{(\beta h)^3}{3} \left( \frac{1}{\alpha^3} - 1 \right) \right] \quad (13)$$

Luego, la deformación total de la viga (ecuación 9), se puede escribir de manera simple como:

$$\alpha = A (B + \beta h)^3 + K \quad (14)$$

Donde :

K es constante respecto a la variación de  $\beta$ .

$$A = \frac{Q}{3 \cdot E_x \cdot b \cdot h^3 / 12} \left( \frac{1}{\alpha^3} - 1 \right) \quad (15)$$

$$B = h \sqrt{\frac{E_x}{10 G} \cdot \frac{(1/\alpha - 1)}{(1/\alpha^3 - 1)}} \quad (16)$$

Usando las ecuaciones (14), (15) y (16) en la ecuación (8) se obtiene una expresión explícita para determinar la resistencia en vigas rebajadas:

$$\frac{Q_f}{b \cdot \alpha h} = \frac{\sqrt{G_c / h}}{\sqrt{0,6 \alpha (1 - \alpha) / G} + \beta \sqrt{6 (1/\alpha - \alpha^2) / E_x}} \quad (17)$$

o alternativamente, en términos del esfuerzo de corte convencional, se puede deducir que:

$$f_{cz} \leq \frac{1,5 \sqrt{G_c / h}}{\sqrt{0,6 \alpha (1 - \alpha) / G} + \beta \sqrt{6 (1/\alpha - \alpha^2) / E_x}} \quad (18)$$

## DETERMINACION DE LA ENERGIA DE FRACTURA

Como se ha visto, la expresión para determinar la resistencia en vigas rebajadas mediante el método propuesto, depende fundamentalmente del parámetro definido como energía de fractura,  $G_c$ . El valor que se obtenga para dicho parámetro está directamente relacionado con el método de ensayo, de ahí la importancia de estandarizar el procedimiento con el objeto de poder comparar los resultados que se obtengan en distintos laboratorios.

## Descripción del procedimiento de ensayo

El ensayo consta de tres piezas de madera, encoladas como indica la Figura N° 3, de manera que el conjunto forme una pieza de sección transversal  $a \times b$  y largo  $7a$ .

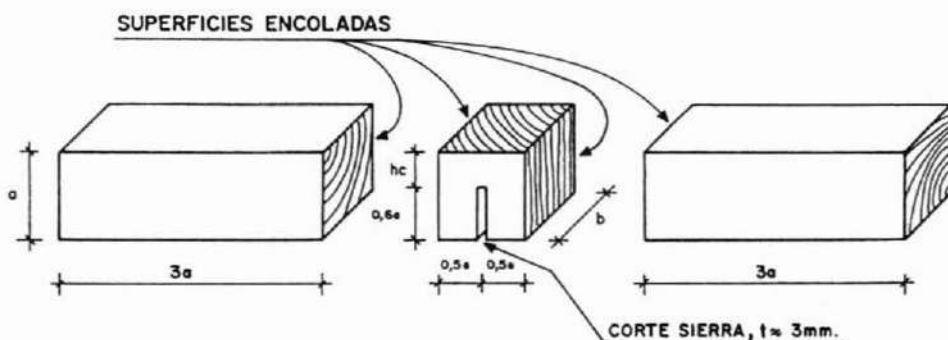


Figura N° 3. PIEZAS QUE COMPONEN EL ENSAYO.

La probeta en la que se medirá la energía de fractura forma un prisma de volumen  $a \times a \times b$ , en la que se practica un corte con sierra, paralelo a dos de las caras paralelas a la fibra. Tal corte debe tener un espesor,  $t$ , de aproximadamente 3 mm y una profundidad de  $0,6a$ , de forma que el área ensayada sea  $h_c \times b$ , con  $h_c = 0,4a$ .

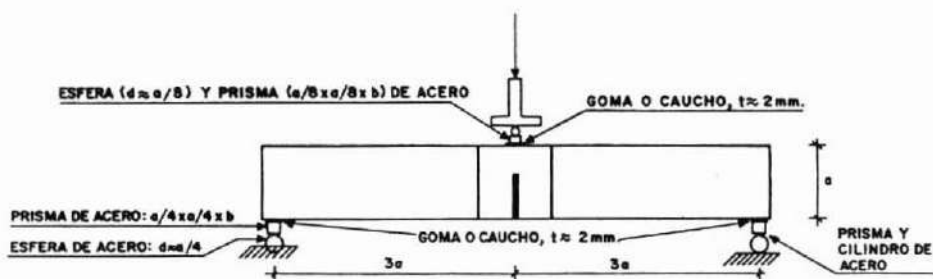


Figura N° 4. SISTEMA DE APOYO Y CARGA DE LA VIGA.

A la viga simplemente apoyada, se le aplica carga en el punto medio de la luz (ver Figura N° 4), a una velocidad constante del cabezal de la máquina de ensayo, de tal suerte que el colapso se obtenga en aproximadamente  $(a/80)$   $(3 \pm 1)$  min ( $a$  en mm). Se debe registrar continuamente la carga y la deflexión con el objeto de determinar con exactitud el diagrama carga-deformación respectivo.

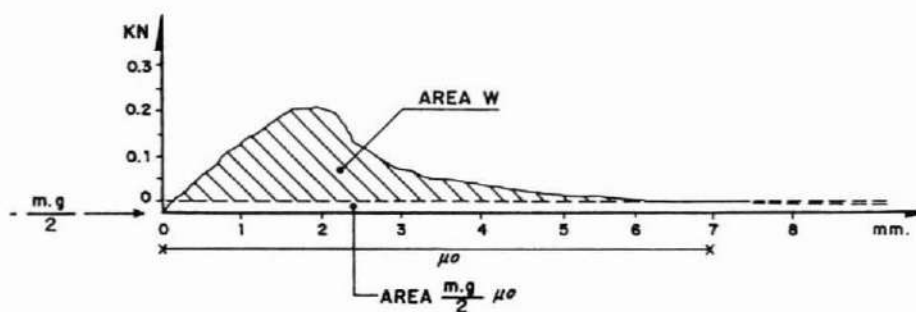


Figura N° 5. DIAGRAMA CARGA - DEFORMACIÓN.

Del diagrama carga-deformación, el trabajo externo se calcula como  $W + mg\mu_o$ , donde  $W$  es el trabajo generado por la carga central, que se obtiene como el área bajo la curva mostrada en la Figura N° 5,  $m$  es la masa de la viga,  $g$  es la aceleración de gravedad y  $\mu_o$  es la deformación hasta el punto de falla. El trabajo realizado por la masa de la viga, antes de  $\mu_o$  es  $mg\mu_o/2$  y, se asume que después de ese punto, la energía es de la misma magnitud.

Finalmente y de acuerdo a lo anterior, la energía de fractura se calcula como:

$$G_c = \frac{W + mg\mu_o}{h_c * b}$$

## CONCLUSIONES

El concepto de energía de fractura resuelve el problema relativo a la determinación de la resistencia en vigas rebajadas en sus extremos de manera simple. Sus fundamentos son sólidos, pues está incorporada dentro de una teoría consistente (fractura mecánica), que considera la situación real de carga, geometría y apoyo del elemento estructural, concentrando el análisis en el verdadero punto crítico que puede llevar al colapso, esto es, la potencial rajadura longitudinal que se inicie en el vértice del rebaje.

Ello entrega a los calculistas, una importante herramienta que hace más confiable el análisis estructural y, si es el caso, la posibilidad de determinar con exactitud el esfuerzo predominante.

Por otra parte, esta proposición fue discutida en el Congreso CIB W18 (International Council for Building Research Studies and Documentation. Working Commission W18 A - Timber Structures), en Septiembre de 1988, acordándose en aquella oportunidad, que ella sería incorporada en la futura versión de la norma de Diseño de Estructuras en Madera del CIB.

Lo anterior, lleva a pensar que en el corto plazo, esta metodología de diseño para vigas rebajadas forme parte de, al menos, la Norma Europea, pasando a constituir parte del conjunto de parámetros que se exigen, como información

básica, para la exportación de madera con cualidades estructurales. De ahí la importancia que en Chile se investigue la energía de fractura de las especies forestales crecidas en el país.

## BIBLIOGRAFIA

**EUROCODE 5, 1987.** Common Unified Rules for Timber Structures. Commission of the European Communities, Report EUR 9887.

**Gustafsson, Per Johan, 1988.** A Study of Strength of Notched Beams. CIB-W18 Paper 21-1O-1, Parksville, Canada. 1988 a.

**Larsen, H. J. and Gustafsson P. J, 1989.** Design of Endnotched Beams. CIB-W18 A Paper 22-1O-1, Berlin, German Republic.

**Smith, Seely, 1970.** Resistencia de Materiales, Segunda Edición, Editorial Hispano-Americana, México.

**Walpole, R. E. and Myers, R. H., 1989.** Probability and Statistics for Engineers and Scientists. Fourth Edition. Mac Millan Publishing Company. New York, U.S.A.

**FUNCIONES DE ALTURA TOTAL Y AREA DE COPA PARA LENGA *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 lenga se ajustaron funciones de Altura Total y Area de Copa. Los datos provienen del Lago General Vintter y utilizan sólo al DAP como variable predictor. 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:** *Lenga ( *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 Area de Copa.

## OBJETIVOS

- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Altura Total para lenga, que permita estimar este parametro en ejemplares que se encuentren en distintas exposiciones y altitudes.
- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Area de Copa para Lenga que permita estimar este parametro 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 Area de Copa para lenga en la zona bajo estudio.

## MATERIALES Y METODOS

### Estimación de la Altura Total y Area 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; Field et al, 1991; ALder, 1980; Neter y Wasserman, 1973; Sokal y Rohlf, 1984; Clutter et al, 1983; Caillez, 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 Area 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<sup>2</sup>); 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 <sup>2</sup>
	13	0,995	1,62	3.218,0	**	**		7,11	1,90 *	1,77	-
1.100	8	0,994	1,02	2.697,0	**	**		0,34	1,84 *	0,88	1/D <sup>2</sup>
		0,963	3,64	711,2	**			19,97	1,49 *	3,64	-
	13	0,967	0,08	791,9	**			0,44	1,75 *	0,06	1/D <sup>2</sup>
1.200	6	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 <sup>2</sup>
	8	0,963	3,18	414,4	**	**		19,96	1,52 *	3,18	-
1.300	8	0,962	0,09	398,0	**	**		0,55	1,99 *	0,07	1/D <sup>2</sup>
		0,963	3,18	822,9	**			19,98	1,62 *	3,18	-
	8	0,952	0,09	615,7	**			0,62	1,62 *	0,07	1/D <sup>2</sup>
	11	0,956	2,44	330,4	**			21,99	1,63 *	2,44	-
1.300	8	0,956	0,44	323,8	**			4,00	1,70 *	0,29	1/D <sup>2</sup>
		0,990	1,74	2.620,0	**			10,09	1,36 i	2,02	-
	11	0,992	1,02	2.026,1	**			0,42	1,63 *	0,77	1/D <sup>2</sup>

# 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 <sup>2</sup>
1.100	8	0,956	4,74	671,8	**	**		22,03	1,69 *	4,74	-
		0,936	0,13	455,3	**	**		0,58	1,39 i	0,11	1/D <sup>2</sup>
	8	0,967	3,01	948,5	**	**		19,28	2,69 *	3,01	-
		0,967	0,09	941,5	**	**		0,58	2,25 *	0,07	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	10	0,982	2,21	713,4	**	*		13,53	1,89 *	2,21	-
		0,985	0,05	814,2	**	**		0,31	1,95 *	0,04	1/D <sup>2</sup>
1.300	13	0,998	1,38	5.150,1	**	**		5,03	1,95 *	1,54	-
		0,998	1,02	5.928,6	**	**		0,36	1,97 *	0,85	1/D <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>	

# 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° 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	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond	
					a	b	# c					
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 <sup>2</sup>
	14	0,990	1,86	3.265,2	**			9,89	1,43	i	2,04	-
		0,992	1,17	3.959,0	**			2,56	1,87	*	1,01	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	13	0,988	1,86	1.478,0	*	*		11,22	1,28	vi	1,99	-
		0,988	1,02	1.545,0	**	**		0,42	1,36	i	0,89	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	13	0,996	1,38	3.827,5	**	**		6,18	2,06	*	1,49	-
		0,996	1,02	4.193,6	**	**		0,44	1,99	*	0,88	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	11	0,994	1,51	2.859,0	**			7,59	1,61	*	1,74	-
		0,993	1,02	2.361,3	**			0,42	1,67	*	0,78	1/D <sup>2</sup>

# 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° 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	a	t	#	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
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 <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>
		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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	12	0,984	2,5	1.985,6	**	**		11,71	2,18 *	2,8	-
1.300	3	0,976	1,3	1.280,1	**	**		2,93	2,56 i	1,2	1/D <sup>2</sup>
		0,985	2,5	1.983,6	**	**		11,71	2,17 *	2,8	-
	11	0,977	1,3	1.300,9	**	**		2,93	2,59 i	1,2	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>

# 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° 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	a	t b	# c	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 <sup>2</sup>
	12	0,991	2,5	3.294,5	**			9,92	2,22 *	2,9	-
1.100	11	0,991	1,3	3.514,4	**			2,48	2,16 *	1,2	1/D <sup>2</sup>
		0,947	4,0	1.139,3	**			18,78	1,27 ns	4,5	-
	12	0,843	1,3	161,7	**			3,13	1,56 *	1,1	1/D <sup>2</sup>
1.200	11	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 <sup>2</sup>
	12	0,981	3,2	1.280,3	**			14,34	2,25 *	3,7	-
1.300	11	0,983	1,3	1.471,0	**			2,87	2,45 *	1,1	1/D <sup>2</sup>
		0,981	3,2	1.275,0	**			14,34	2,22 *	3,7	-
	12	0,983	1,3	1.465,4	**			2,87	2,40 *	1,1	1/D <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>

# 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 ESTADISTICOS 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	#	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 <sup>2</sup>
	11	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 <sup>2</sup>
		0,885	9,5	270,7	**		39,95	1,40 i	9,5	-
	12	0,850	0,3	199,2	**		1,26	1,28 ns	0,3	1/D <sup>2</sup>
1.200	3	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 <sup>2</sup>
	11	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 <sup>2</sup>
		0,943	4,6	495,5	**		25,39	1,62 *	5,0	-
	12	0,886	1,1	234,0	**		1,23	1,50 *	1,0	1/D <sup>2</sup>
1.300	11	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 <sup>2</sup>
	12	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 <sup>2</sup>

# 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  $d^L$

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 Spermán 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* D <sup>0,5</sup> lim inf = 2,82129 ta = 26,3558 **	Modelo 8 lim sup = 3,29403 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1100	HT=2,793537* D <sup>0,5</sup> lim in f= 2,58981 ta = 28,1419 **	Modelo 8 lim sup = 2,99726 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1200	HT=2,480061* D <sup>0,5</sup> lim inf = 2,27617 ta = 24,8134 **	Modelo 8 lim sup = 2,68395 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1300	HT=2,007090* D <sup>0,5</sup> lim inf = 1,76819 ta = 17,9115 **	Modelo 8 lim sup = 2,24599 Weigth = 1/D <sup>2</sup>

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	$HT = 0,737368 * D - 0,005125 * D^2$ 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	$HT = 2,601321 * D^{0.5}$ lim inf = 2,42859 ta = 30,6837 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,77405 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,955760 * D^{0.5} + 140,053948/D$ 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	$HT = 1,658085 * D^{0.5}$ lim inf = 1,50756 ta = 23,3568 **	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	$HT = 0,669719 \cdot D - 0,005471 \cdot D^2$ 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	$HT = 2,019294 \cdot D^{0.5}$ lim inf a = 1,83356 ta = 22,0766 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,20503 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,483331 \cdot D^{0.5} + 45,877077/D$ 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	$HT = 1,948446 \cdot D^{0.5}$ 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	$AC = 0,655822 * D + 0,009062 * D^2$ 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	$AC = 0,916762 * D$ lim inf = 0,79729 ta = 15,7480 **	Modelo 3 lim sup = 1,03624 Weigth = $1/D^2$
1200	$Ln(AC) = 0,939323 * Ln(D)$ lim inf = 0,89632 ta = 44,5596 **	Modelo 11 lim sup = 0,98233
1300	$AC = 0,716785 * D$ lim inf = 0,53722 ta = 8,5105 **	Modelo 3 lim sup = 0,89635 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



Cuadro N° 13

## MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION SUR

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

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

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE =  $\text{m}^2$

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 * D lim inf = 0,81380 ta = 14,8357 **	Modelo 3 lim sup = 1,07369 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1100	AC = 0,641764 * D lim inf = 0,54943 ta = 14,1138 **	Modelo 3 lim sup = 0,73410 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1200	AC = 0,553681 * D lim inf = 0,46850 ta = 13,2783 **	Modelo 3 lim sup = 0,63886 Weigth = 1/D <sup>2</sup>
1300	Ln(AC) = 0,826522 * Ln(D) lim inf = 0,78360 ta = 40,8337 **	Modelo 11 lim sup = 0,86944 Weigth = 1/D <sup>2</sup>

AC = Area de Copa (m<sup>2</sup>)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m<sup>2</sup>

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 Lengua (*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 Lengua. Una Orientación para su Uso y Manejo (Recopilación Bibliográfica). Informe Técnico N° 126. CORFO-INFOR. Chile.

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





**UNA METODOLOGIA SIMPLE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PARCELAS DE ESCORRENTIA.** Sandra Perret Durán. Ingeniero Forestal, U.de Chile. División Silvicultura, Instituto Forestal. Santiago. Chile.

### **RESUMEN**

*La gestión hídrica en las zonas áridas y semiáridas debe constituir el principal elemento de análisis para el manejo sustentable de los recursos naturales, debido a la escasa oferta de agua y a su gran demanda para diversos usos. Si se analiza el proceso precipitación - escorrentía, se advierte la gran cantidad de caudal sólido que se transporta, dando origen a fuertes procesos erosivos. Sin embargo, no existe para estas zonas una cuantificación de pérdidas de suelo. Es por esto que es fundamental desarrollar investigación que aborde la conservación de los recursos naturales mediante una metodología de cuantificación de pérdida de suelo y escorrentía, bajo diferentes tipos de cultivos, con el fin de aportar a la solución del problema de conservación de suelos y utilización óptima del escaso recurso agua*

*Con el objetivo de contribuir a ello se presenta en este artículo una metodología para el diseño y dimensionamiento de dispositivos para la medición de los sólidos y agua producto de la escorrentía, de manera que sirva de guía para otras investigaciones sobre el tema.*

## INTRODUCCION

Chile se enmarca dentro de la Región Biogeográfica Mediterránea, con un clima de tipo estacionario, coincidiendo los veranos cálidos con la falta de lluvias.

Las lluvias torrenciales, además de mal distribuidas, suelen presentar gran intensidad en reducidos lapsos de tiempo. La IV Región no está ajena a estas características, existiendo registros de tormentas en la zona de 50 a 80 mm en 24 horas. Uno de los sectores más afectados de esta Región es la provincia del Choapa, la cual presenta procesos erosivos de gran magnitud, que se han visto incrementados por el mal uso de la tierra con la sobreexplotación de la cubierta vegetal autóctona con fines energéticos y ganaderos (IREN, 1977).

La falta de información especialmente en lo referente a la degradación del suelo, ha llevado al Instituto Forestal a desarrollar un proyecto de investigación que tiene como objetivo cuantificar el monto de pérdida de suelo en función de la erosión hídrica. La metodología se basa en la instalación de módulos o áreas de comprobación de prácticas de conservación de suelo, que permiten evaluar, en relación a la productividad de los diferentes tratamientos y a los montos de pérdidas de suelo, los métodos culturales de menor riesgo para la zona de estudio.

El presente trabajo tiene como finalidad entregar algunas pautas para la determinación de las dimensiones de los colectores de sedimentación y agua de escorrentía en parcelas experimentales.

El objetivo específico de estas parcelas experimentales es dimensionar las pérdidas de suelo y agua, bajo diferentes prácticas de conservación de suelo y cultivos.

## **METODOLOGIA, SUPUESTOS Y DATOS BASICOS**

Las metodologías de investigación usadas para el estudio de la erosión del suelo por el agua son muy variadas, tanto en las técnicas como en los procedimientos que utilizan.

La instalación de parcelas experimentales para la determinación de los montos de pérdidas de suelo y escorrentía permite diseñar los más variados experimentos, de manera de averiguar la influencia que ejercen sobre el medio las diferentes condiciones y prácticas de uso conservacionistas. Estas requieren por lo tanto de la toma de datos sobre diferentes factores que actúan independientemente o en forma interactiva, tales como suelo, pendiente, cultivo y manejo.

### **Parcelas Experimentales como Método de Investigación**

Existen diferentes métodos de investigación para estudiar la erosión del suelo que reúnen un gran número de técnicas y procedimientos. Por ejemplo se pueden citar las observaciones de campo, los simuladores de lluvias, los estudios de laboratorio y las parcelas de escurrimiento entre otras.

Las parcelas de escorrentía pueden a su vez tener diferentes dimensiones, dependiendo del objetivo que se quiera lograr con su instalación. El hecho de tener factores predefinidos permite determinar en forma más certera las pérdidas de suelo de manera que los resultados obtenidos se puedan extrapolar a superficies mayores de similares características.

Es así como para la evaluación de prácticas silvoagropecuarias se requieren dimensiones mínimas que permitan labrar la tierra con animales o maquinaria agrícola. Las dimensiones más usadas son de 6 a 10 m de ancho y hasta 32 m de largo dependiendo de la pendiente del terreno y de las dimensiones de los colectores o receptores de escorrentía.

### **Demarcación y Dimensionamiento de las Areas de Control de Erosión.**

El objetivo de estas parcelas es recoger el agua de escorrentía y el posible

arrastre de suelo, de forma de conocer la influencia que ejercen las diferentes prácticas de conservación sobre la recuperación y reducción de los procesos erosivos. La instalación de las parcelas o áreas de comprobación para este ensayo, se efectuó en una de las laderas de la quebrada "El Pantano", cercana a Illapel en la IV Región, tomando como base que los módulos o bloques quedaran en condiciones similares de pendiente, exposición, relieve y altitud, de manera que la variabilidad en el bloque fuese mínima.

Las parcelas son de tipo rectangular con el eje longitudinal orientado hacia la pendiente, de 18 m de largo por 7 m de ancho.

En términos generales consiste en una faja bien definida, con un elemento para concentrar la escorrentía en su extremo más bajo y un colector para recibir el sedimento transportado.

Los principales componentes de estas parcelas experimentales son (Figura N°1):

- A.- Parcela independiente de superficie prefijada con pendiente uniforme y cultivada de diferentes maneras.
- B.- Plataforma metálica que recoge el agua de escorrentía y el sedimento proveniente de la parcela.
- C.- Depósito de decantación que tiene por función recoger los materiales sólidos procedentes de la plataforma metálica.
- D.- Partidores que dividen el volumen de agua escurrida conduciendo una parte de ella a los depositos generales.
- E.- Depositos generales que acumulan el agua de escorrentía.
- F.- Estación Meteorológica que mide la cantidad de agua caída, temperaturas, humedad relativa, presión barométrica y viento.

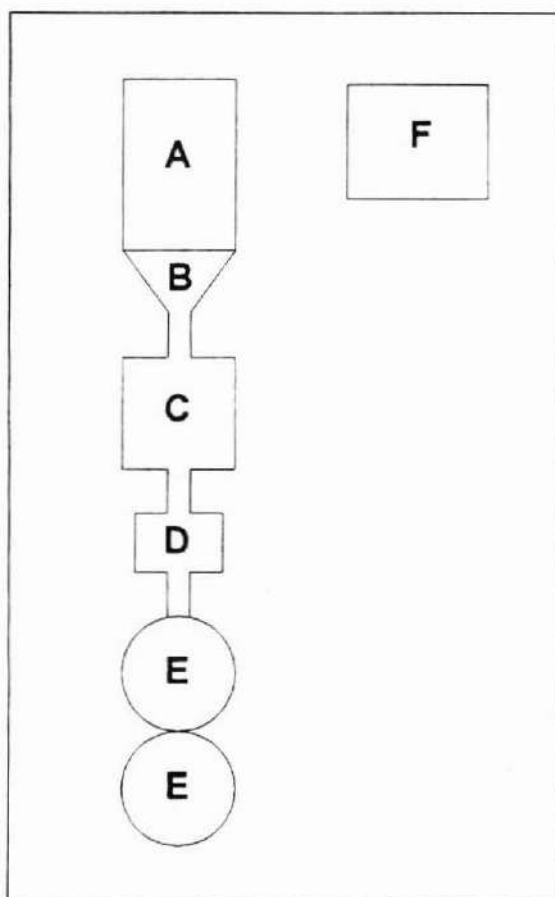


Figura N° 1 COMPONENTES PARCELA EXPERIMENTAL

Las dimensiones de cada uno de estos componentes se determinaron en base a dos supuestos: la máxima intensidad de precipitación que se puede esperar en dicha zona en un día y una estimación de la capacidad de infiltración de dichos suelos.

Según datos de pluviometría de la estación de INFOR, ubicada en el predio Bellavista comuna de Illapel (Cuadro N°s 1 y 2), en los últimos 5 años la mayor precipitación registrada en un día fue en el mes de Julio de 1987, con 83 mm. En base a estos datos y a la probabilidad de ocurrencia de dicho evento se determinaron las dimensiones de los recipientes o colectores de sedimento. Se

cotejó dicha información climatológica con una serie de datos históricos entre los años 1913 a 1948, de la estación perteneciente a la Oficina del Agua Potable de Illapel, y éstos ratifican la intensidad que se produjo el año 1987 en un día. Esta información se entrega en el Cuadro N°3.

Cuadro N° 1

INTENSIDAD MAXIMA EN UN DIA SEGUN AÑO Y MES  
ESTACION PREDIO BELLAVISTA ILLAPEL (INFOR)  
(mm)

Año	Meses											
	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1987	29,0			6,0	14,0	26,0	83,0	32,0	3,0	10,0		
1988						9,0	16,0	13,0			3,0	
1989					31,0		18,0	39,0				
1990	S/l						18,0	4,0	2,0			
1991					31,0	42,0	12,0		12,0			

Cuadro N° 2

PRECIPITACIONES MENSUALES POR AÑO ESTACION  
PREDIO BELLAVISTA ILLAPEL (INFOR) (mm)

Año	Meses												Total
	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
1987	29,0			6,0	33,0	42,0	355,0	104,0	3,0	10,0			582,0
1988						16,0	23,9	20,0			3,0		62,9
1989					35,5		42,0	51,0					128,5
1990	S/l						42,0	4,0	2,0				48,5
1991					31,0	126,0	23,0		25,0				205,0

Cuadro N° 3

**PRECIPITACIONES MENSUALES POR AÑO**  
**ESTACIÓN AGUA POTABLE ILLAPEL IV REGION**  
 (mm)

Año	Meses												Total
	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
1926					24	252	93	23	8				400
1927			1		58	124	61	23	8				275
1928				32	45	84	51	3	1				216
1929	2				13	116	20	58	11				220
1930				11	29	68	90	18	13	26	4		259
1931				18	3	76	62	48	46		5		258
1932					31	90	5	45				10	181
1933	16	8			23	40	16	15		2			120
1934					137	76	1	3	9	6			232
1935					4	24	45	15	2	44			134
1936				9	45	18	58	47	5	2			184
1937					2	39	45	73	7	5			171
1938			24		112	43	24			4			207
1939					15	70	1	9	15	21		25	156
1940				3	23	91	77	67	14				275
1941				81	81	32	64	137					395
1942					44	71	51	138	10	24	33		371
1943					27	42	31	44	1	1			146
1944		4		23	43	82	26	101		18			297
1945		57		2			3	35	17				114
1946				8	25	46	16	31					126
1947				5		76	90	60		30			261
1948				17	63	34	78		2				194

Aplicando el modelo de distribución de Gumbel (CONAF, 1986) se pueden predecir los valores de ciertas variables hidrológicas asociadas a una probabilidad de ocurrencia. Este modelo ha dado buenos resultados cuando se ejecuta con valores extremos, lo cual no implica que para valores medios los resultados no sean satisfactorios.

La función de Gumbel queda definida como:

$$F(x) = P(\beta \leq x) = e^{-e^{-d(x-u)}} \quad \text{con } -\infty < x < \infty \quad (1)$$

Donde :

x, valor a asumir por la variable aleatoria  
d y u, parámetros y  
e, base de logaritmos neperianos

Despejando x de (1), queda:

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(x))}{d} \quad (2)$$

Donde:

$$u = \bar{x} - 0,450047 * S \quad (3)$$

$$1/d = 0,779696 * S \quad (4)$$

Donde :

x = Media aritmética de la serie de datos  
S = Desviación típica de la muestra de datos

Según la serie de datos obtenida del Cuadro N°1, se ejecutó el programa de Gumbel desarrollado en lenguaje BASIC y compilado en TURBO-BASIC. De los datos utilizados se deduce que los montos presentan una extrema variabilidad, los resultados obtenidos son los siguientes:

La función de Gumbel queda definida por:

$$F(x) = e^{-e^{-4,75E - 0,02(x - 27,4546)}} \quad (5)$$

El test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, entrega los siguientes resultados:

- D calculado = 0,194
- Tamaño de muestra N = 5
- Coeficiente de determinación  $R^2 = 0,82$



Lo que indica que el modelo elegido explica en un 82 % las variaciones de las frecuencias de lluvia observadas, lo que es satisfactorio.

En este contexto, si de la ecuación (5) se despeja  $x$ , queda:

$$X = 27,4546 - \frac{\ln(-\ln F(x))}{4,75 \cdot 10^{-002}}$$

Luego para determinar los montos de precipitación en 24 horas, asociados a un período de retorno y a una probabilidad, se aplica la ecuación anterior y se obtienen los  $X_i$ .

Cuadro N° 4

**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS  
ASOCIADAS A UN PERIODO DE RETORNO**

Período de Retorno (años)	F (x)	Variable $X_i$ , Asociada al período de retorno
2	0,5	35,167
3	0,667	46,449
4	0,75	53,67
5	0,8	59,016
6	0,833	63,267
7	0,857	66,799
8	0,875	69,82
9	0,889	72,461
10	0,9	74,806
11	0,909	76,916

Los colectores deben tener suficiente capacidad para contener todo el escurrimiento y sedimento que se produzca en una tormenta máxima probable.

Para el cálculo de los dispositivos de sedimentación se realizaron dos tipos de análisis, que son los que se describen en los puntos siguientes.

-Determinación de una Metodología de Cálculo a través de un Razonamiento Lógico.

Para determinar la cantidad de agua caída en las parcelas experimentales se asumieron los siguientes supuestos:

A.- Que la precipitación máxima esperada en 24 horas sea de 83 mm.

B.- Que el escurrimiento máximo esperado sea de 80 % del agua caída.

Se tiene en consecuencia que:

-La superficie de las parcelas es de :Sp = 126 m<sup>2</sup> (7m x 18m)

-El agua caída es de :Ac = 0,083 m

-El volúmen esperado es de :Ve = Sp x Ac => Ve = 10,46 m<sup>3</sup>

Pero al considerar el segundo supuesto "B", el volúmen Ve cambia a:

$$Ve_2 = Ve \times 0,80 = > Ve_2 = 8,37 \text{ m}^3$$

$$Ve_2 = 8.370 \text{ litros}$$

Si se asume que se debe recibir dicha cantidad de agua para ser medida, el recipiente sería demasiado grande y de alto costo, por lo cual se consideró la utilización de recipientes de 200 litros y se dejó un margen de seguridad en su extremo superior de 10 cm para evitar un posible rebalse.

Las dimensiones del tambor de 200 litros son:

-Ancho = 55 cm de diametro (d)

-Altura = 87 cm interior (l)

Luego, si se disminuye 10 cm en l se tiene que el volúmen del tambor (Vt) es de :

$$Vt = (\pi * r^2) * (l-10) = > Vt = 182,94 \text{ litros}$$

En forma práctica se instalaron dos tambores para recibir la escorrentía de la parcela lo que significa acumular un volumen de  $V_t \cdot 2 = V$ .

$$= > \quad \boxed{V = 365,88 \text{ litros}}$$

Pero como ya se señaló anteriormente el total de agua que provendría de la parcela con una lluvia de 83 mm sería de 8.370 litros, por lo cual es necesario diseñar un partidor que divida el agua en tantas partes iguales para sólo acumular un equivalente (alícuota) a 365,88 litros.

Es así como la cantidad de alícuotas que debería tener este partidor (P) es de:

$$V_e / V = > P = 23 \text{ alícuotas o partes iguales}$$

Ya se sabe en forma aproximada la cantidad, pero se necesita saber que dimensiones debe tener el depósito de materiales sólidos, para determinar esto se consideran los siguientes supuestos:

- Pérdida de suelo equivalente a 32 t/ha/año (Peralta, Com. Pers.).
- Precipitación máxima en un día de 83 mm
- Precipitación del año máxima de 582 mm

Luego, 32 t/ha/año equivalen a 3,2 Kg/m<sup>2</sup> /año y como la parcela tiene 126 m<sup>2</sup>, significa que la pérdida de suelo para dicha unidad muestral es de 403 Kg/año.

En una lluvia torrencial se acumularía aproximadamente el 15% de dicho valor, lo que equivale a 61 Kg/24 h de pérdida de suelo.

De la tabla de equivalencia de pesos medios de materiales se seleccionó el de arena o tierra seca (INFOR, 1976), debido a que es el que más se asemeja a las características del suelo de la zona en estudio. En este, 1m<sup>3</sup> es equivalente a 1.600 Kg/m<sup>3</sup> por lo tanto 61 Kg corresponde a 0,03812 m<sup>3</sup> y se necesitaría entonces como mínimo un recipiente de 38,12 litros para el almacenamiento de sedimentos.



-Cálculo de la Escorrentía a partir del Método del Número de Curvas del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (S.C.S.).

Los métodos que asumen la hipótesis hortoniana de la generación de la escorrentía superficial y en la cual se considera como el principal generador de la escorrentía superficial, a la escorrentía de tormenta, suelen tener dos procesos diferentes (Mintegui y Lopez, 1990):

- a) Evaluar la precipitación efectiva. Esta se obtiene de restar a la precipitación total las pérdidas iniciales y la infiltración a lo largo de un período;
- b) Transformar esta precipitación efectiva en caudal de avenida. Esto se efectúa mediante el coeficiente de escorrentía, es decir de la relación media existente entre la precipitación total y la escorrentía directa.

Se realizó la operación del cálculo de los depósitos de sedimentación por medio del Método del Número de Curvas como forma de comprobación con la del punto anterior.

El Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU estableció una clasificación de los llamados complejos hidrológicos a los que se asignó una capacidad de infiltración. Esta capacidad de infiltración queda definida por el tipo de suelo hidrológico y la cubierta vegetal asociada a un tratamiento cultural.

Para el caso de este proyecto el grupo de suelos que se asumió fue el equivalente al de un potencial de escurrimiento máximo, con suelos poco profundos en el cual el mayor porcentaje de partículas la constituyen las arcillas, las cuales aumentan de volúmen al mojarse. Según la Tabla N°1, se tienen las siguientes condiciones:

-Uso de suelo	: barbecho
-Tratamiento	: hileras rectas
-Condición de infiltración	: practicamente nula
-Grupo hidrológico "D"	: Equivalente a un N = 94

Cuadro N°5

NUMERO DE LAS CURVAS DE ESCORRENTIA PARA COMPLEJOS HIDROLOGICOS DE TIERRAS PARA CUENCAS EN CONDICION II P = 0.2 S

Uso del Suelo y Cubierta	Tratamiento o Método	Condición para la Infiltración	Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	SR		77	86	91	94
Cultivo en Hilera	SR	Mala	72	81	88	91
	SR	Buena	67	78	85	89
	C	Mala	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C y T	Mala	66	74	80	82
	C y T	Buena	62	71	78	81
Gramíneas	SR	Mala	65	76	84	88
	SR	Buena	63	75	83	87
		Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	C y T	Mala	61	72	79	82
	C y T	Buena	59	70	78	8
Legumbres Tupidas o	SR	Mala	66	77	85	89
Rotación de Praderas	SR	Buena	58	72	81	85
		Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	C y T	Mala	63	73	80	83
	C y T	Buena	51	67	76	80
Pradera o Pastizal		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	61	79	84
		Buena	39	61	74	80
		Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Pradera (Permanente)			30	58	71	78
Bosques (Lotes de Bosques)		Mala	45	66	77	78
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	71
Cascos de los Ranchos (Alquerías)			59	74	82	86
Caminos Fangosos			72	82	87	89
Superficie Dura			74	84	90	92

SR, Hileras Rectas; C, Por Líneas de nivel; T, Terrazas, C y T, Terrazas a Nivel

Se asume que las condiciones de humedad del suelo después de una lluvia son muy altas, por lo cual el valor del número de curvas N de 94 equivalen a un N de 98,8.

El número N representa un valor relativo del fenómeno como producto directo de la escorrentía. Mientras más se acerca el valor de N a 100, mayor es el volumen de escorrentía directa que puede esperarse de una tormenta.

Para determinar el número hidrológico N o número de curvas que le corresponde a una cuenca determinada, se evalúa en ella misma sus características de suelo y vegetación de acuerdo a la Tabla N°1, tomando un muestreo para distintas situaciones que presente la cuenca. El resultado de esos valores se expresa como sigue:

$$N = \sum N_i S_i / S$$

Donde :

$S_i$ : Superficie de la cuenca afectada por un número hidrológico N.

S: Superficie total de la cuenca.

Una vez obtenido el número de curvas se procede al cálculo de la escorrentía directa, la que esta dada por :

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{(P + 0,8 S)}$$

Donde :

Q: Escorrentía directa en mm

P : Precipitación del aguacero en mm (o del tiempo que se quiera medir).

S: Diferencia de potencial entre P y Q expresado en mm. Este parámetro esta determinado por el número hidrológico y se define como :

$$0,2 S = 0,2 ((25.400 - 254 N)/N)$$

Despejando S se tiene:

$$S = ( 25.400 - 254 N ) / N$$

Reemplazando N en la Ecuación se tiene el siguiente valor de S:

$$S = ( 25.400 - 254 * 98,8 ) / 98,8$$

$$S = 3,08502$$

Luego reemplazando S en Q se tiene:

$$Q = \frac{ ( 83 - ( 0,2 * 3,08502 ) )^2 }{ 83 + ( 0,8 * 3,08502 ) }$$

$Q = 79.409 \text{ mm}$
-------------------------

Por lo tanto, como la parcela tiene una superficie de 126 m<sup>2</sup> y el agua caída es de 0,079409 m, se obtiene un volumen equivalente a 10,006 m<sup>3</sup>, lo que equivale a 10.006 litros de caudal en la parcela.

Como se señaló anteriormente, la capacidad de los tambores es de 183 litros cada uno y existiría una pérdida de suelo equivalente a 29 litros. Suponiendo que de este caudal sólido un 5 % se acumula en el primer depósito y que el resto pasa al depósito de agua se tiene que:

$$Q = 10.006 + 15 \implies Q = 10.029 \text{ litros}$$

Luego si los tambores retienen solo 366 litros, se debe fabricar una estructura que tenga aproximadamente 28 alicuotas, para así poder captar solo una parte del agua que evacuaría la parcela de medición.

### Diseño de los Partidores

Después de estos dos análisis para dimensionar las estructuras a instalar en las parcelas de erosión, se procedió a diseñar los dos partidores, el primero de ellos divide el agua en 4 partes iguales y el segundo divide en 7 partes iguales la porción que trae el primer partidor. Constituyéndose la unidad muestral de





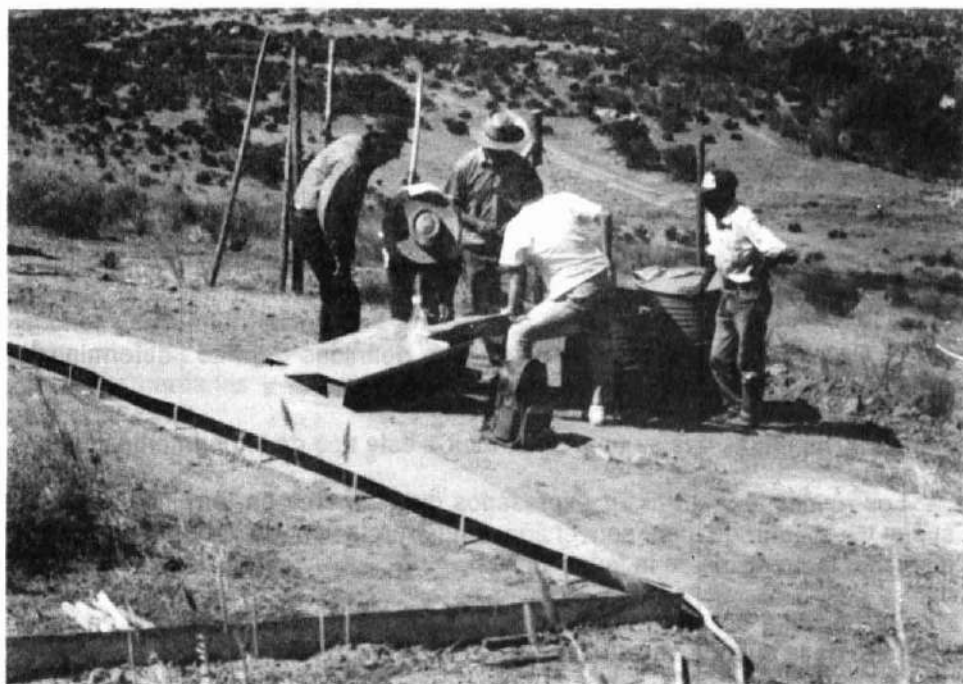


Figura N°3. FOTO DEL ESTABLECIMIENTO DE LOS COLECTORES PARA MEDICION DE EROSION

## COMENTARIOS

El contar con parcelas experimentales para la medición de la erosión y escorrentía permite diseñar los más variados experimentos, de manera de ver la influencia que pueden ejercer sobre los recursos suelo y agua las diferentes prácticas de cultivo.

Sin embargo, es necesario tener en consideración que el efectuar estudios a nivel de parcelas, requiere forzosamente de un número determinado de variables como vegetación y clima. Algunas de las variables dependientes típicas son la erosión, escorrentía superficial e infiltración, algunas de las

variables independientes susceptibles de utilizar son los parámetros climáticos, las características de suelo y los sistemas de cultivo o vegetación.

Las ventajas que ofrece este tipo de análisis a través de parcelas experimentales son:

-Las áreas son relativamente homogéneas

-Se pueden efectuar el número de repeticiones por tratamiento que se estime necesario.

-El hecho de que sean superficies bien definidas permite determinar las causas y efectos de cada tratamiento

Las desventajas que se pueden atribuir a este tipo de experimentos son:

-Los resultados, al no ser expresados directamente en términos de agua y suelo y requerir de una conversión e interpretación de laboratorio, pueden disminuir la precisión de la investigación.

-Se necesita de un gran número de parcelas para poder cubrir un amplio espectro de la cuenca en estudio.

En forma práctica, al seguir el proceso de formulación y puesta en marcha de este tipo de parcelas experimentales, es necesario ir salvando una serie de obstáculos como son:

-Al empezar el análisis del dimensionamiento de las parcelas de escorrentía surgen trabas de tipo económico y operacional, luego lo más recomendable es hacer una iteración de los ajustes hasta llegar a un óptimo. Para ello lo ideal es contar con la mayor cantidad de información posible de precipitaciones del área de estudio, de manera que las predicciones cuenten con una mayor consistencia y por ende una mayor probabilidad de acierto.

-En segundo lugar, una vez efectuado el análisis para el dimensionamiento de las parcelas y dispositivos de los sólidos y líquidos, es necesario diseñar un partididor de agua, ya que el construir un depósito que acumule todo el caudal a recibir sería de muy alto costo y poco operativo.

-Para el diseño del partididor se debe tener en cuenta que este es un instrumento de precisión, debe ser realizado por un técnico calificado, y la cantidad de alicuotas dependerá de las dimensiones de la parcela y la máxima precipitación de probable ocurrencia en el área de estudio.

-Para el cercado de las parcelas en terreno se pueden utilizar diferentes materiales como madera, concreto, adobe y hojas metálicas. Según un estudio de costos efectuado para la instalación de estas parcelas en La Comunidad Agrícola de Tunga Norte (Quebrada Quelón), los costos más bajos se obtuvieron utilizando planchas de acero galvanizado de 0,6 mm de espesor y de 30 cm de altura de fleje.

-Otro factor a considerar cuando se realiza este tipo de estudios es el contar con una estación meteorológica cerca del lugar de ensayo, de manera de disponer de la información climática según la periodicidad deseada. Si no se cuenta con una estación propia se debe recurrir a los registros diarios de otras estaciones cercanas y efectuar algún tipo de ajuste, como el de Gumbel ya explicado.

## REFERENCIAS

**INFOR, 1976.** Tablas y Factores de Conversión. Manual N° 7. Santiago, Chile. 97 páginas.

**IREN, 1977.** Estudio de las Comunidades Agrícolas IV Región. Uso y Manejo Actual. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Corporación de Fomento de la Producción, Publicación 20. Santiago, Chile, 54 páginas.

**IREN-CORFO, 1978.** Estudio de las Comunidades Agrícolas de la IV Región. Santiago, Chile volúmenes 9 y 10 (publicación 20).

**Mintegui, A.J. y Lopez, U.F., 1990.** La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Departamento de Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco. Primera parte, 172 páginas.

**CONAF, 1986.** Instructivo Técnico N° 5. Determinación de valores Probabilísticos para Variables Hidrológicas. 8 páginas.



# EL GENERO *Nothofagus* BLUME EN CHILE, ALGUNAS IMPLICACIONES DE SU DIVERSIDAD BIOLÓGICA. 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, ruiil, 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 Santoniano 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 &

Phillipson 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 Glathlen, 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.
- Marticorena, 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, Berlín. 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.



# ALGUNOS ANTECEDENTES SOBRE PROPAGACION DE NOTHOFAGUS. Marisol Muñoz V., Prof. U. de Talca. Casilla 721-Talca.

## INTRODUCCION

Las especies del género **Nothofagus** tienen gran importancia en el país ya que son componentes de la mayoría de los tipos forestales y por lo tanto tienen una amplia participación dentro del bosque chileno. Su distribución natural cubre desde la V hasta la XII Regiones.

Todos los **Nothofagus** chilenos presentan características de interés por las cualidades de su madera, porque habitar sólo en Chile, por ubicarse en un área muy restringida, por estar catalogados en peligro de extinción o vulnerables, por ser capaces de crecer en condiciones ambientales adversas, etc. Todo esto justifica plenamente cualquier estudio tendiente a aumentar el conocimiento que se tiene de estas especies.

En 1984, Contreras realizó un exhaustivo estudio acerca de la investigación realizada en el país sobre el manejo del bosque nativo chileno y una de sus principales conclusiones es que en todas las categorías de materias la información es insuficiente, especialmente en los aspectos de regeneración y reproducción, y los **Nothofagus** no son la excepción. Esta aseveración o este llamado de alerta, planteado hace nueve años motiva a preguntarse ¿Cuál es el grado de conocimiento actual acerca de los aspectos reproductivos de los **Nothofagus** chilenos? ¿Son suficientes las investigaciones realizadas a la fecha? ¿Cuáles son las prioridades en investigaciones futuras?

Estas inquietudes son el tema principal del presente trabajo, el cual está especialmente dirigido a los alumnos de la Carrera de Ingeniería Forestal que se interesen en realizar investigación en esta área.

A continuación se detalla por especie la información recopilada sobre los aspectos reproductivos.

## **Nothofagus alessandri (Ruil)**

El número de semillas por kilo puede variar entre 76.000 y 133.300, de acuerdo a los autores consultados (Donoso, 1975; Cabello, 1987; Rodríguez, 1990; Landaeta, 1981).

La viabilidad es baja, se han reportado valores desde 11-48% (Donoso, 1975; Landaeta, 1981; López et al., 1986). En parte se debe a que casi el 100% de las semillas laterales son atrofiadas y por lo tanto vanas (Donoso, 1975). Florece entre septiembre y octubre, sus frutos maduran entre febrero y marzo.

Se recomienda guardar los frutos en frascos herméticos o en bolsas plásticas selladas, a 4 °C y, en lo posible, reducir el contenido de humedad a menos de 10%.

Previo a cualquier prueba de germinación es necesario eliminar las semillas vanas o no viables a través de la prueba de flotación. Esto se realiza remojando las semillas durante 24-48 horas en agua y eliminando posteriormente todas las semillas que flotan. En las siguientes páginas se dará por entendido que, para todas las especies mencionadas en este trabajo, la prueba de flotación se realizará previo a cualquier tratamiento germinativo.

En ensayos de laboratorio efectuados en 1978, Donoso y Cabello, obtuvieron un 8,7% de germinación para semillas sin tratamiento germinativo y 50,7% fue el máximo de germinación obtenida con semillas estratificadas en arena durante 30 días. Rocuant (1984) ensayó varios tratamientos y los mejores resultados los obtuvo al remojar las semillas en ácido giberélico 25 ppm durante 30 horas, sin embargo la germinación fue de sólo 14,66%. A partir de estos primeros estudios se han efectuado numerosos ensayos de germinación, sin embargo la capacidad germinativa obtenida siempre es inferior a 50%, y el pretratamiento que ha dado mejores resultados es la estratificación fría húmeda por un periodo de 30-90 días (Landaeta, 1981; López et al. 1986; Cabello, 1987; Rodríguez, 1987; Villa, 1987).

En vivero la siembra dependerá de la zona geográfica donde se está propagando y será más temprana hacia el norte de su distribución. Es así como Cabello (1987) recomienda hacerla entre julio y agosto, en cambio Rodríguez (1987) y López et al. (1986) determinan que septiembre será la mejor época.

Una vez germinadas las semillas, lo que ocurre entre los 15-30 días después de efectuada la siembra, se recomienda colocar sombreadero con un 50-60% de cobertura, el que puede ser retirado en forma paulatina a partir de los 5 meses (López et al., 1986), o bien se puede mantener hasta el momento de retirar las plantas del vivero para llevarlas al lugar de plantación (Rodríguez, 1987).

El crecimiento en vivero, en la zona centro sur, es bastante rápido y alcanzaría unos 50-60 cm en el año (Rodríguez, 1987), sobre todo si la siembra es temprana, más al norte pareciera ser más lento, de unos 16-20 cm al año (Cabello, 1987).

Se estudia la reproducción por estacas (Donoso, 1992, comunicación personal).

### **Nothofagus alpina (Raulí, Robli)**

El número de semillas por kilo varía entre 75.000 a 150.000 (Donoso y Cabello, 1978; López, 1983; Werner, 1987). Rodríguez (1990) ha observado que los árboles aislados son los mejores productores de semillas, éstos se caracterizan por disminuir el tamaño de sus hojas y concentrar los frutos en el sector de la copa más iluminada por el sol.

La viabilidad es de un 35-64% según López (1983). Epoca de floración entre septiembre y noviembre, maduración de frutos entre Marzo a Abril.

En Gran Bretaña se ha conservado semilla por más de 20 años en almacenamiento seco a 2 °C (Tuley, 1980). En ensayos de laboratorio se obtiene mejores resultados (61,9%) con semillas sin tratamiento germinativo (Moreno y Ramírez, 1976), además la temperatura tiene un efecto significativo (lo mismo que para roble). Shafiq (1979) obtuvo 99.6% de promedio bajo condiciones de 30°C por 8 horas y 20 °C por 16 horas.

En 8 años de observaciones en el Centro de Semillas de Chillán, López (1983) señala una gran variación en la germinación en laboratorio y estima que estos resultados erráticos pueden deberse a la procedencia, edad de los árboles padres y cosecha inadecuada.

La siembra en vivero para la zona de Chillán se recomienda efectuarla a comienzos de primavera (Ilabaca y Valenzuela, 1980). Niveles cercanos al 60% de luminosidad y 300 cm<sup>2</sup> de espaciamiento por individuo son adecuados para la propagación en vivero. A los 6 meses es posible obtener plantas de 34,5 cm de altura y 4,3 mm de diámetro de cuello, con una adecuada fertilización (Grosse 1987; Grosse y Bourke, 1988). A mayor tamaño de semilla se obtienen plantas de mejor calidad (Albormoz y Fisher, 1981).

En forma natural el raulí rebrota en forma abundante. Silva (1968) consiguió un 27% de estacas arraigadas al usar material colectado a mediados de noviembre y tratado durante 15 minutos en 1000 ppm de AIB (ácido indolbutírico), esto se logró en ambiente controlado de invernadero con una temperatura entre 18-26 °C. Se investiga la micropropagación in vitro e in situ (Jordan y Velozo, 1992).

### **Nothofagus antarctica (Ñirre)**

El número de semillas por kilo varía entre 320.000 y 678.000 (Donoso y Cabello, 1978; Rodríguez, 1989). Florece entre octubre y noviembre y sus frutos maduran entre marzo y abril. Rodríguez, (1989) propone almacenar los frutos en frascos herméticos a 0 °C, en lugar seco. No existen estudios al respecto.

En laboratorio se ha obtenido 20,6% de germinación al estratificar las semillas a 5 °C durante 90 días, previo remojo en agua por 24 horas (Donoso y Cabello, 1978).

Rodríguez (1989) recomienda la estratificación húmeda, en arena, a 4 °C, por 40 días, y sembrar en almácigos, de los que se obtendrá aproximadamente un 20% de semillas germinadas. Según el mismo autor no se requiere sombreadero para producirla en vivero, pero el crecimiento no es muy rápido y se necesita de dos años en vivero para que la planta esté en condiciones de llevarla al lugar de plantación.

### **Nothofagus betuloides (Coigüe de Magallanes)**

El número de semillas por kilo varía entre 414.312 y 525.000 (Ordoñez,



1987; Rodríguez, 1990).

Ordoñez (1987) quien trabajó con los tres coigües, determinó para esta especie un 2,04% de germinación al aplicar estratificación a 4 °C durante 90 días. Este resultado lo logró en vivero y sembrando la última semana de septiembre.

### **Nothofagus dombeyi (Coigüe)**

El número de semillas por kilo promedio es de 448.513 con un rango de variación de 229.884 - 619.314 (Ordoñez, 1987), este mismo autor señala que la viabilidad y el tamaño de las semillas disminuye de norte a sur.

Semillas fuertemente atacadas por larvas. Se observan ciclos bianuales de producción de semillas (Donoso et al., 1991).

Florece desde septiembre a noviembre y sus frutos maduran entre marzo y abril.

Se recomienda almacenar las semillas en frascos de vidrio herméticos, obteniéndose un 8% de viabilidad después de un año (Donoso et al., 1991).

En ensayos de laboratorio Donoso y Cabello (1978) obtuvieron apenas un 3% de germinación en semillas sin tratamiento y este porcentaje aumentó a 24% cuando se aplicó como pretratamiento estratificación en arena a 4 °C durante 60 días.

En vivero se recomienda estratificar las semillas a 4°C por 40 a 90 días y luego sembrar en septiembre, bajo sombreadero (Rodríguez, 1987; Ordoñez, 1987; Donoso et al., 1991).

### **Nothofagus glauca (Hualo, Roble colorado, Roble maulino)**

El número de semillas por kilo varía de acuerdo a la procedencia pero se encuentra entre 1.200 y 3.800 y la viabilidad es de un 47% (Donoso, 1975).

La producción de semillas es cíclica, pero no se conoce muy bien cómo es este ciclo de producción, en tres años de observaciones Donoso (1975) observó abundante producción en la temporada 1970/71, nula en 1971/72 y buena producción en 1972/73.

Las semillas de esta especie son fuertemente atacadas por la larva de un insecto (Donoso, 1978).

La floración ocurre entre septiembre y octubre y la maduración de sus frutos entre marzo y abril. Cabello (1987) recomienda almacenar las semillas a 5 °C y con bajo contenido de humedad, aunque no especifica ningún valor. Rodríguez (1987) agrega que este almacenamiento debe hacerse en envases cerrados y en un lugar oscuro y seco.

En general es posible obtener, tanto en laboratorio como en vivero, porcentajes de germinación superiores a 70% al aplicar estratificación en arena húmeda a 4-5 °C, durante un periodo de 30 a 90 días (Cabello, 1975; Donoso, 1975; Cabello, 1987; Villa, 1987)

En vivero se recomienda sembrar las semillas previamente estratificadas bajo sombra parcial, con una disminución de la intensidad lumínica no mayor de un 20% (Rodríguez, 1987).

En forma natural se ha visto que retoña abundantemente. Se investiga la reproducción por estacas en Hualo (Donoso, 1992, comunicación personal).

### **Nothofagus leonii (Huala)**

El número de semillas por kilo presenta un rango de variación entre 14.180-17.000 según Donoso y Cabello (1978). La viabilidad es de 45% (Donoso, 1975). Florece entre septiembre y octubre, sus frutos maduran entre febrero y marzo.

Donoso (1975) señala que las semillas almacenadas a temperatura ambiente pierden su facultad germinativa. En ensayos de laboratorio las semillas sin tratamiento han logrado hasta un 23% de germinación, al aplicar estratificación fría húmeda durante 30 días se alcanzó un 82-84%, pero al prolongar este periodo de estratificación disminuye la capacidad germinativa (Cabello, 1987).

En vivero se recomienda sembrar las semillas entre mediados y fines de julio (Cabello, 1987).

### **Nothofagus nitida (Coigüe de Chiloé)**

El promedio de número de semillas por kilo es de 1.212.631, con un rango de variación de 1.095.317 - 1.326.670 (Ordoñez, 1987), aún cuando Rodríguez (1990) indica 535.000 para procedencia Cordillera Pelada.

Ordoñez (1987) logró 0.89% de germinación en vivero, al aplicar estratificación en arena a 4 °C durante 120 días.

### **Nothofagus obliqua (Roble, Pellín, Hualle.)**

El número de semillas por kilo varía alrededor de 50.000-150.000 según Donoso et al. (1992), quienes indican que el tamaño y peso de las nueces disminuye linealmente de norte a sur y de mayor a menor altitud.

La viabilidad fluctúa en relación al año de producción, es así como es posible tener viabilidad de 11 - 43%, con un alto porcentaje de semillas vanas (Donoso, 1975; Donoso et al., 1992).

Las semillas son atacadas por larvas de un insecto perforador.

En cuanto al ciclo de producción de semillas, Donoso (1975) observó abundante producción en la temporada 70/71, escasa o nula en la temporada 71/72, y buena producción entre 72/73, lo que indicaría que probablemente su ciclo de producción sería bienal (Donoso et al., 1992).

Florece entre septiembre y octubre y la maduración de frutos se produce entre febrero y abril. Tuley (1980) afirma que tanto las semillas de roble como de raulí pueden guardarse más de 20 años en almacenamiento seco a 2 °C, sin embargo Donoso (1978) señala que las semillas son microbióticas y que se mantienen vivas no más de 3 años. Al almacenarlas en frascos de vidrio es posible mantener un 77% de viabilidad después de un año (Donoso et al., 1992).



En laboratorio se puede obtener 40-68.3% de germinación en semillas sin tratamiento, este porcentaje puede aumentar a 50-86,6% al aplicar estratificación a 4 °C durante 60 días (Donoso y Cabello, 1978). Además Gordon y Rowe (1981) afirman que es indiferente aplicar estratificación fría en arena o en seco y que la aplicación de GA3 o GA4/7 produjo hasta un 100% de germinación de las semillas viables, en laboratorio. Agregan que el GA3 no fue tan eficaz como el GA4/7 cuando se usó como pretratamiento de las semillas a sembrar en vivero y recomiendan el remojo durante 24 horas en una dosis de 24 y 48 mg/L de GA4/7. La capacidad germinativa en respuesta a la estratificación fría, muestra una variación clinal en el sentido altitudinal, pero no en el latitudinal, donde se distinguen dos posibles ecotipos; uno en el norte con alta capacidad germinativa y otro con baja capacidad correspondiente a las poblaciones meridionales (Donoso, 1987).

En relación a la propagación en el vivero, López et al.(1986) recomiendan sembrar entre septiembre y octubre y afirma que esta especie no necesita sombra, sin embargo Rodríguez (1987) asegura que el sombreadero protege de heladas e insolaciones y recomienda uno que no reste más del 70% de luz. Por otra parte, Moreno y Ramírez (1976) establecen que para la zona de Chillán la mejor época de siembra es a mediados de septiembre y, en cuanto a densidad de siembra, recomiendan obtener al final 20 plantas por metro de hilera y aseguran que el roble crece mejor a pleno sol.

Se obtiene alrededor de un 30% de germinación en vivero (López et al., 1986; Rodríguez, 1987). Donoso et al.(1992) recomienda algunas técnicas utilizadas en vivero para esta especie, concretamente en lo referido a poda de raíces, fertilizaciones, aplicaciones de pesticidas, etc.

En forma natural retoña bastante bien de tocón, sin embargo no existen estudios al respecto.

### **Nothofagus pumilio (Lenga)**

El número de semillas por kilo es de 49.000 (Donoso y Cabello, 1978). En estudios realizados en la XI Región por Mascareño (1988) se observó que el 50% de las semillas caían en abril y que el 46% de ellas estaban sanas y el resto presentaba ataque de insectos y de aves. El autor señala que en 10 años de observaciones en dos áreas de la XI Región, no hubo semillaciones masivas y por lo tanto sugiere que la periodicidad ocurriría en intervalos mayores y que

el factor climático es importante.

Además indica que las diferencias de fructificación en estos dos lugares, distantes en línea recta no más allá de 80-100 km, sugerirían que las producciones de semillas sólo son representativas de una pequeña área y que por lo tanto se deben evitar las generalizaciones de los antecedentes entregados. Además estas producciones masivas ocurren en forma localizada (sector Laguna Verde, en 1978, 10,54 millones de semillas/ha y en el sector Parcela Permanente, en 1978, 1,71 millones de semillas/ha). El mismo autor, en relación al tamaño de las semillas señala que el promedio es de 7 mm de longitud, con un rango de 3-13 mm.

Florece entre octubre y noviembre y sus frutos maduran entre febrero y abril. Rocuant (1984) al realizar ensayos de germinación en laboratorio obtuvo un 30% con estratificación fría seca durante 20 días.

## COMENTARIOS

Existe una marcada diferencia en el conocimiento de las técnicas de propagación y materias relacionadas. Es así como el raulí y el roble se presentan como las especies más estudiadas, a diferencia de otras como: coigüe de Magallanes, coigüe de Chiloé y hualo. En relación a la producción de semillas existe un gran desconocimiento, ya que a causa de múltiples factores, ésta presenta una gran variación. La producción de semillas es cíclica, lo que significa que existen años de buena producción seguidos de temporadas muy malas, sin embargo estos ritmos de producción no se conocen. Algunos autores hacen mención a lo que han observado en un par de años, pero no existen estudios sistemáticos al respecto, que puedan avalar dichas afirmaciones y que determinen a qué edad comienzan a fructificar y cuáles son los ciclos de producción de semillas para cada especie.

Es sabido que una cosecha inadecuada puede ser un factor determinante en la capacidad germinativa de las semillas, lo mismo que las técnicas de procesamiento. Cabe señalar que en Chile el único centro distribuidor de semillas es el Centro de Semillas Forestales, administrado por CONAF, el cual puede avalar la correcta manipulación de las semillas. Las otras opciones son coleccionar directamente o recurrir a colectores ocasionales. En este último caso



se corre el riesgo de una inadecuada cosecha y manipulación. Por tal motivo, parece probable que en algunas especies los problemas de baja germinación se originen en estos factores. El almacenamiento de las semillas destaca por ser una materia a la cual prácticamente no se le han dedicado esfuerzos. Es necesario conocer cuáles son las condiciones óptimas para un adecuado almacenamiento de semillas de cada especie; para prevenir el envejecimiento acelerado, pérdida de viabilidad y fundamentalmente para disponer de un stock en años de mala producción.

En general se puede afirmar que la viabilidad de las semillas de los **Nothofagus** chilenos es muy baja. En algunos casos esto se debe a que las semillas son vanas, producto de atrofias, es decir que el embrión es abortado, ya sea por condiciones ambientales adversas o bien por características genéticas de las especies. Sin embargo, en la mayoría de los casos la viabilidad se ve afectada debido al fuerte ataque de insectos perforadores que incuban larvas dentro de las semillas y éstas consumen el embrión.

El tipo de latencia que presentan las semillas de **Nothofagus** es de tipo fisiológica superficial, la cual es posible de superar con estratificación fría por un periodo que dependerá de cada especie, pero que en general oscila entre 15 y 90 días. En algunos casos, a pesar de aplicar este tratamiento se logran porcentajes de germinación muy bajos, tanto en laboratorio como en vivero, como ejemplo de ésto se puede mencionar a *firre*.

Los aspectos de viverización no han sido estudiados en la mayoría de los casos, con excepción de algunas especies que despiertan mayor interés, como raulí, roble y coigüe, en el resto se desconocen cuáles son los factores más adecuados en cuanto a fertilizaciones, poda de raíces, luminosidad, espaciamiento, tipo de sustrato, etc. En general, cuando se han reproducido en vivero se han utilizado las técnicas habituales, pero no se ha estudiado en detalle los requerimientos de cada especie, tales que permitan obtener plantas de la mejor calidad en el menor tiempo posible.

Opciones de propagación vegetativa prácticamente se desconocen. Este tipo de reproducción surge como una buena alternativa cuando el objetivo es la continuidad en el tiempo de las especies o bien cuando se trabaja dentro de un programa de mejoramiento genético.

## BIBLIOGRAFIA

**Albornoz, C. y Fischer, E., 1981** Influencia del Tamaño de la Semilla de Raulí *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. en el Crecimiento Inicial y Calidad Final de Plantas. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile. Escuela de Cs. Forestales, Universidad de Chile. 107 p.

**Cabello A., 1987.** Proyecto de Protección y Recuperación de Especies Arbóreas y Arbustivas Amenazadas de Extinción. Colecta de Semillas y Producción de Plantas en Vivero. Santiago, Chile. Chile Forestal, Doc. Téc. N-21 y 22, 8 p.

**Contreras, R., 1984.** Análisis de la Investigación sobre el Manejo del Bosque Nativo Chileno. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile. Fac. de Cs. Agrarias, Veterinarias y Forestales, Universidad de Chile. 188 p. Anexos.

**Donoso, C., 1975.** Aspectos de la Fenología y Germinación de las Especies de *Nothofagus* de la Zona Mesomórfica. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Boletín Técnico N-34, 23 p.

**Donoso, C. y Cabello, A., 1978.** Antecedentes Fenológicos y de Germinación de Especies Leñosas Chilenas. Santiago, Chile. Ciencias Forestales 1(2):31-41

**Donoso, C. y Cabello; A., 1978.** La Silvicultura de *Nothofagus* en Chile. Departamento de Silvicultura y Conservación. Universidad de California. Berkeley, California, USA. 102 p.

**Donoso, C., 1987.** Variación Natural en Especies de *Nothofagus* en Chile. Bosque 8(2):85-97.

**Donoso, C.; Escobar, B. y Cortés, M. 1991.** Técnicas de Vivero y Plantación para Raulí (*Nothofagus alpina*). Chile Forestal, Doc. Téc. N-53, 8 p. Técnicas de Vivero y Plantación para Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Chile Forestal, Doc. Téc. N-55, 8 p.

**Donoso, C.; Escobar, B. y Cortés, M. 1992.** Técnicas de Vivero y Plantación para Roble (*Nothofagus obliqua*). Chile Forestal, Doc. Téc. N-62, 8 p.

**Gordon, A. G. y Rowe, D. 1981.** Studies on the Effects of Pre-chilling Periods or Gibberellins Used to Stimulate the Germination of *Nothofagus obliqua* and *Nothofagus procera*. Seed Sci. and Tech. 9(3):823-838

**Grosse, H. 1987.** La Regeneración de Raulí. Antecedentes sobre Regeneración Natural y Artificial. Ensayos de Viverización. INFOR-CORFO. Concepción, Chile. 84 p.

**Grosse, H. y Bourke, M. 1988.** Desarrollo de Raulí en Vivero bajo Distintos Niveles de Luminosidad y Espaciamento. INFOR-CHILE. Ciencia e Investigación Forestal 2(3):1-11

**Ilabaca, C. y Valenzuela, J. 1980.** Ensayo de Nuevas Técnicas para la Producción de Plántulas de Raulí, *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Tesis Ing. Forestal. 108 p.

**Jordan, M. y Velozo, J. 1992.** Micropropagación de Raulí (*Nothofagus alpina*). Segundo Taller Silvícola. Eucalyptus - Bosque Nativo. Fundación Chile y Grupo Silvícola. pp:57-65.

**Landaeta E, 1981.** Estudio de las Semillas y Plantas de Vivero para Cuatro Procedencias de *Nothofagus alessandri* Espinosa. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias, Veterinarias y Forestales. 141 p.

**López, J. 1983.** Algunos Antecedentes sobre Producción de Semillas y Técnicas de Vivero para Raulí. CONAF, Depto. Técnico. Región del Bío Bío. Boletín Téc. N-1, 31 p.

**López, J.; Jiménez, G. y Reyes, B. 1986.** Algunos Antecedentes sobre Cosecha Procesamiento y Viverización de varias Especies Nativas. Chile Forestal, Doc. Técnico N-15, 8p.

**Mascareño, A. 1988.** Evaluación de Ensayos de Semillación y Regeneración de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) bajo Diferentes Tratamientos a la Cama de Semillas en la Reserva Forestal Trapanada, Coyhaique, XI Región. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales, Tesis Ing. Forestal. 95 p. Anexos.

**Moreno, G. y Ramírez, C. 1976.** Ensayo de Algunas Técnicas para la Producción en Vivero de Plántulas de Roble *Nothofagus obliqua* (Mirb. et Oerst.) y Raulí *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile. Fac. de Cs. Forestales, Universidad de Chile. 137 p.

**Ordoñez, A. 1987.** Germinación de las Tres Especies de *Nothofagus* Siempreverde (coigües) y Variabilidad en la Germinación de Procedencias de Coigüe Común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. Tesis Ing. Forestal. 134 p. Anexos.

**Rocuant, L. 1984.** Efecto de Giberelina y Tiourea en la Germinación de Semillas: Especies del Género *Nothofagus*. Bosque 5(2):53-58

**Rodríguez, G. 1987.** *Nothofagus glauca*. Chile Forestal N-143, Ficha Coleccionable. *Nothofagus obliqua*. Chile Forestal N-145, Ficha Colec. *Nothofagus dombeyi*. Chile Forestal N-146, Ficha Colec. *Nothofagus alpina*. Chile Forestal N-144, Ficha Colec.



**Nothofagus alessandri**, Chile Forestal N° 145, Ficha Colec.

**Rodríguez, G., 1989.** **Nothofagus antarctica**. Chile Forestal N:164, Ficha Coleccionable.

**Rodríguez, G., 1990.** Propagación de **Nothofagus** Chilenos por medio de Semillas. Agro-Ciencia 6(2):119-122.

**Shafiq, Y., 1979.** Some Effects of Light and Temperature on the Germination of **Pinus brutia**, **Nothofagus obliqua** and **Nothofagus procera** seeds. Seed Sci. and Tech. 7(2):189-193.

**Silva, J., 1968.** Arraigamiento de Estacas de Raulí, **Nothofagus alpina** (Poepp. et Endl.) Oerst. Universidad de Chile, Fac. de Agronomía, Escuela de Ingeniería Forestal. Tesis Ing. Forestal. 23 p.

**Tuley, G., 1980.** **Nothofagus** in Britain. Forestry Commission. Forest Record N122, Published by Her Majesty's Stationary Office England. 26 p.

**Villa, A., 1987.** El Roble Maulino. Chile Forestal N:139 pp:16-17.

**Werner, J., 1987.** Determinación de Periodos Optimos de Estratificación para Semillas de Diferentes Procedencias de Raulí (**Nothofagus alpina** (Poepp. et Endl) Oerst.) Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias. Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 123 p

## NOTAS BIBLIOGRAFICAS

*El Instituto Forestal edita regularmente diversas publicaciones técnicas referidas a Estadísticas Básicas, Estudios de Mercado, Estudios Sectoriales, Precios de Productos Forestales, Silvicultura del Bosque Nativo y de Plantaciones, Construcción en Madera, Especies Forestales Exóticas, entre otros temas. Se entregan a continuación antecedentes de algunas publicaciones recientes y de interés, disponibles para consulta o adquisición en las oficinas de INFOR en Santiago (Huérfanos 554) y en Concepción (Barros Arana 121).*

### **1. PRECIOS DE PRODUCTOS FORESTALES CHILENOS ACTUALIZADOS AL SEGUNDO SEMESTRE DE 1993.** Informe semestral.

Contiene series de precios del mercado interno y externo, para los principales productos forestales transados, entre 1984 y la fecha de publicación.

### **2. BOLETIN DE PRECIOS FORESTALES.** Informe bimensual.

Contiene información de una amplia gama de productos y servicios forestales del mercado interno, actualizándose cada dos meses.

## REGLAMENTO DE PUBLICACION

**CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL** es una publicación técnica seriada del Instituto Forestal de Chile, que publica trabajos originales e inéditos, o avances de investigación de sus profesionales y de aquellos profesionales del Sector Forestal que deseen difundir sus experiencias en el área de la silvicultura, el manejo forestal, la industria de la madera, problemas ambientales y otros temas relacionados con la actividad y desarrollo del Sector.

La publicación cuenta con un consejo editor que revisa en primera instancia los trabajos presentados y está facultado para aceptarlos, rechazarlos o solicitar modificaciones a los autores. Se cuenta además con un selecto grupo de profesionales de diversas especialidades, que actúan como editores asociados. De acuerdo al tema, los trabajos son enviados a uno o más editores asociados para la calificación especializada de estos. Para los efectos de esta calificación se mantiene en reserva tanto el nombre del autor como el de los editores asociados.

La publicación cuenta de tres secciones:

- **Artículos:** Trabajos que contribuyan a ampliar el conocimiento científico o tecnológico como, resultado de investigaciones que hayan seguido un método científico.
- **Apuntes:** Comentarios o análisis de temas particulares, que presenten enfoques metodológicos novedosos, representen avances de investigaciones, informes sobre reuniones técnicas o programas de trabajo y otras actividades de interés dentro del Sector Forestal.
- **Notas Bibliográficas:** Informan sobre publicaciones recientes, en el país o en el exterior, comentando su contenido e interés para el Sector, en términos de desarrollo científico y tecnológico o como información básica para la planificación y toma de decisiones.

## ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

### - Artículos:

Todos los trabajos presentados para esta sección deberán contener: Resumen, Abstract, Introducción, Objetivos, Material y Método, Resultados, Discusión y Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias. Si es necesario se podrán incluir adicionalmente Apéndices y Anexos.

El título deberá ser representativo del efectivo contenido del artículo y se deberá construir con el mínimo posible de palabras.

En el Resumen se hará una breve descripción de los objetivos del trabajo, de la metodología utilizada y de los principales resultados y conclusiones. La extensión máxima del Resumen será de una carilla y, al final de este punto, se incluirán al menos tres palabras claves que faciliten la clasificación bibliográfica del contenido de la publicación. El Abstract será evidentemente la versión en inglés del Resumen.

En la Introducción se describirá el estado actual del conocimiento sobre el tema, con el debido respaldo de la bibliografía revisada, y se discutirá la importancia que tiene lograr y divulgar avances al respecto. En este punto no se incluirán cuadros ni figuras.

En el punto Objetivos se plantearán brevemente los fines generales del trabajo o la línea de investigación y se enunciarán los objetivos específicos del trabajo presentado.

En Material y Método se explicará cuidadosamente como se desarrolló el trabajo. En forma precisa y completa se dará una visión clara de la metodología aplicada y los materiales empleados en las investigaciones y estudios que han dado origen al trabajo presentado. Cuando la metodología no es original se deberán citar con claridad las fuentes de información. Se podrán incluir cuadros y figuras, pero se deberá cuidar que la información que se entrega por esta vía no sea repetitiva con aquella incluida en el texto.

El punto Resultados estará reservado para todos los resultados obtenidos, estadísticamente respaldados. No se deberán duplicar cuadros ni figuras y los comentarios que se incluyan en este punto serán sólo los indispensables para la fácil comprensión de la información presentada.

En Discusión y Conclusiones se analizarán los resultados obtenidos, sus limitaciones y su trascendencia, se relacionarán con la información bibliográfica previamente reunida y se podrán plantear necesidades de trabajos futuros que aumenten el conocimiento sobre el tema. Las Conclusiones rescatarán lo más valioso o consistente de los resultados y aquellos aspectos más débiles, que requieran de mayor trabajo o investigación.

Reconocimientos es un punto optativo, destinado, cuando sea necesario, a los créditos correspondientes a instituciones, colaboradores, fuentes de financiamiento, etc. Es obvio que se trata de un punto de muy reducida extensión.

En las Referencias se identificarán todas las fuentes de información del trabajo. Sólo se incluirán aquellas citadas en el documento.

Los Apéndices y Anexos se deben incluir sólo si su contenido es considerado indispensable para la cabal comprensión e interpretación del trabajo o si se considera que la información adicional que presentan es un real aporte. Se deberá recordar que los Apéndices incluyen información o trabajo original del autor, en tanto que los Anexos están constituidos por información complementaria elaborada por terceros.

#### **- Apuntes**

Los trabajos para esta sección tendrán en principio la misma estructura que los Artículos, pero en este caso de acuerdo al tema, el grado de avance de las investigaciones o actividades y, en general, de la información disponible en cada caso, se podrán obviar los puntos que no correspondan y adoptar una estructura más simple.

#### **- Notas Bibliográficas**

En las Notas Bibliográficas se identificará detalladamente la publicación, se explicarán sus objetivos y la metodología empleada y se comentarán los principales resultados en función de su importancia o trascendencia para el Sector. El título de la nota bibliográfica será el de la publicación que se comenta e irá seguido del nombre del o los autores y la identificación de la institución y el editor. Se anotará asimismo el año de publicación y su extensión.

Al final de la nota se podrá incluir el nombre del autor de esta, su título y especialidad y la institución a la que pertenece.

### **PRESENTACION DE LOS TRABAJOS**

La publicación aceptará colaboraciones sólo en español, redactadas en lenguaje universal, que pueda ser entendido no sólo por los especialistas, ya que el



objetivo es transferir conocimientos al Sector Forestal en general. No se aceptará redacción en primera persona.

El formato de los trabajos debe ser tamaño carta a espacio simple y doble espacio entre párrafos. La letra deberá ser tipo Courier paso 10. Al inicio de cada párrafo se dará una tabulación de tres espacios (sangría). No se numerarán páginas.

La extensión máxima de los trabajos será de 35 carillas para los Artículos, de 20 carillas para los Apuntes y de 2 carillas para las Notas Bibliográficas.

En la primera página se incluirá el Título en mayúsculas, negrita y centrado. Inmediatamente después, dos espacios abajo y pegado al margen derecho, se ubicará el nombre del o los autores y a pie de página se indicará título (s), institución(es) y dirección (es). En esta página se ubicará también el Resumen y, si el espacio es suficiente, el Abstract. Ambos con su título en mayúsculas negrita y centrado. Si el Abstract no cabe en esta página, se ubicará en página nueva y tanto éste como el resumen se centrarán en la o las páginas de acuerdo a su extensión.

En el caso de los Apuntes el título se pondrá en mayúsculas, negrita y pegado al margen izquierdo, anotándose a continuación el nombre del o los autores, su profesión, institución y dirección, todo esto último en minúsculas y letra corriente. A continuación, en la misma página se iniciará el desarrollo del trabajo.

De similar modo se procederá con las Notas Bibliográficas, con la diferencia que si se considera pertinente mencionar al autor de la Nota, éste se identificará al final.

En página nueva se iniciará la Introducción y a continuación se desarrollarán los siguientes puntos, sin cambiar necesariamente página desde Objetivos en adelante, pero dejando doble espacio antes y después de cada título principal.

Los títulos de los puntos principales (Introducción, Objetivos, etc.) se escribirán en mayúsculas, negrita y pegados al margen izquierdo. Los títulos de segundo orden se escribirán con minúsculas, negrita y en la misma ubicación, en tanto que los de tercer orden se ubicarán de igual modo, se escribirán en minúsculas y en letra corriente, no negrita. Si se requieren títulos de cuarto orden, se usará letra corriente en minúsculas, se dará una tabulación de cinco espacios (sangría) y se antepondrá un guión antes de estos. No se numerarán los títulos.

Los nombres científicos de especies vegetales o animales se destacarán en letra negrita, con la primera letra del género en mayúscula y las restantes en minúsculas.

Las citas bibliográficas se anotarán en minúsculas y letra corriente, mediante el sistema autor, año. Las referencias bibliográficas se ordenarán alfabéticamente en el punto Referencias, separadas por doble espacio. En este punto se usarán letras minúsculas en negrita para autor (es) y año y minúsculas corrientes para el resto de la identificación bibliográfica. Las normas para esta identificación bibliográfica serán las del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Cuando los autores son tres o más se podrá anotar el nombre del primero seguido de et al, en el texto, pero en el punto Referencias se deberán mencionar todos los autores, en el orden en que aparecen en la publicación.

Los cuadros no deberán repetir información proporcionada en el texto, estarán enmarcados en línea simple y centrados, se numerarán correlativamente y en letras mayúsculas y en negrita se identificarán al centro en la parte superior, dejando un espacio entre el título y el marco. Tablas y otras formas similares de mostrar información se presentarán como cuadros.

Las figuras se identificarán de igual modo que los cuadros, si es posible tendrán un marco y se identificarán al centro y en la parte inferior. Gráficos, diagramas, fotos y similares se presentarán como figuras.

Tanto cuadros como figuras se citarán en texto como Cuadro N° o Figura N°. Además, cuando la información que se presenta en cuadros o figuras no es original, se citará la fuente correspondiente al pie del marco, en letra corriente, en minúsculas y entre paréntesis. Información esta que, además se anotará completa en el punto Referencias. Si son necesarias aclaraciones de símbolos u otros elementos de cuadros y figuras se procederá de igual forma que con los antecedentes referentes a la fuente de información.

Se aceptarán fotos sólo en blanco y negro, siempre que reúnan las características mínimas de contraste y resolución como para ser satisfactoriamente reproducidas y su tamaño máximo sea de 12 cm (ancho) x 18 cm (alto).

Las abreviaturas, magnitudes y unidades corresponderán a las aceptadas por la norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se utilizará en todo caso el sistema métrico decimal.

Si se hacen necesarias aclaraciones u observaciones a pie de página, estas se numerarán correlativamente en cada página, con número entre paréntesis ubicado donde sea necesario, y bajo una línea trazada al pie de página se proporcionará en igual orden correlativo la aclaración u observación correspondiente, en letra pequeña y corriente, no negrita. Esta nota de pie de página deberá estar siempre al pie de la misma página en la cual el texto la hizo necesaria.



## ENVIO DE LOS TRABAJOS

Los trabajos se deberán enviar al Editor de Ciencia e Investigación Forestal, Instituto Forestal, Huérfanos 554 4° piso. Santiago.

Se agradecerá enviar original y una copia, además del original en diskette 5¼" 360 Kb 2S/2D, procesador de texto Word Perfect WP 5.0.

Los cuadros y figuras se enviarán incluidos en el texto y, cuando sea necesario para una mejor reproducción, se adjuntarán originales en papel poliéster, especialmente en el caso de las figuras.

Todas las páginas, así como cuadros y figuras que se adjunten, deberán estar numeradas e identificadas con el nombre del autor por el envés con lápiz grafito.







**institute forestal**