

Volumen 9 N° 1  
Junio de 1995

c2,

ISSN 0716-5994

# Ciencia e Investigación Forestal



**INFOR**



**INFOR**  
INSTITUTO FORESTAL





ISSN 0716 - 5994

VOLUMEN 9 N° 1

**CIENCIA  
E  
INVESTIGACION  
FORESTAL**

JUNIO 1995

Propiedad Intelectual  
Registro N° 95.332

**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**

<b>Director</b>	: René Saa Vidal	
<b>Editor</b>	: Santiago Barros A.	
<b>Consejo Editor</b>	: Ronald du Belloy G Patricio Asenjo G.	Jorge Cabrera P. Alfredo López V.
<b>Editores Asociados</b>	: José Antonio Prado Antonio Vita Claudio Donoso Bertram Husch Roberto Melo Harald Schmidt	Manuel Ortiz Vicente Pérez Roland Peters Juan Schlatter Derek Webb Roy Wotherspoon
<b>Dirección Postal</b>	: Huérfanos 554 Casilla 3085. Santiago Chile. Fono 6930700 Fax 6381286	

---

El valor de la suscripción anual para 1995, que consta de dos ejemplares, es de \$17.200 incluido I.V.A., de \$9.000 para estudiantes y de US \$40,00 para el extranjero incluido el franqueo. El valor de cada ejemplar es de \$10.000, de \$5.000 para estudiantes y de US \$22.00 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).

---



# ÍNDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA EUCALIPTO

OSCAR GARCÍA

Ingeniero Forestal Ph D., División Ordenación Forestal e Inventarios. Instituto Forestal Sede Regional X Región, Valdivia.

## RESUMEN

*Como parte de un sistema de modelos de crecimiento para eucaliptos en Chile, se desarrolló un modelo de índices de sitio y crecimiento de altura. Los datos provinieron de las parcelas del programa de introducción de especies del Instituto Forestal. Se usó la ecuación de Richards, con estimación simultánea de todos los parámetros por máxima verosimilitud. Debido al pequeño tamaño de las parcelas hubo que idear un nuevo procedimiento para estimar alturas dominantes. Luego de un análisis exhaustivo de la información por especies y regiones, se recomienda provisionalmente un modelo único obtenido con datos de *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*. Aunque estas estimaciones son probablemente lo mejor que se puede esperar con la información existente, ellas presentan limitaciones serias. Para contar en el futuro con modelos satisfactorios será necesario establecer y mantener una red adecuada de parcelas permanentes.*

*Palabras Clave:* Índice de Sitio, *Eucalyptus*.

## ABSTRACT

*A site index and height growth model was developed, as a part of a growth modelling system for eucalypts in Chile. Data came from plots of the Instituto Forestal species trials program. Richards' equation was used, with simultaneous maximum likelihood estimation of all the parameters. Because of the small plot size, a new procedure for estimating top heights had to be devised. After an exhaustive analysis by species and geographic regions, for all of them the provisional use of a model obtained with data from *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* is recommended. Although these estimates may approach the best that can be expected with the available data, they have serious limitations. To have satisfactory models in the future it will be necessary to establish and maintain an appropriate network of permanent sample plots.*

*Keywords:* Site Index, *Eucalyptus*.

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de eucalipto han adquirido una importancia creciente en el sector forestal chileno en los últimos años. La información sobre crecimientos y rendimientos, imprescindible para la evaluación económica, planificación y manejo racional de estas plantaciones, es sin embargo muy limitada.

El proyecto FONDEF 2-33, "Antecedentes Biométricos y Modelos de Apoyo a la Gestión y Manejo Racional del Eucalipto", tiene como objetivos mejorar esta situación. El problema se está abordando en dos frentes. Por un lado, se trabaja en el desarrollo de modelos preliminares utilizando los datos actualmente disponibles. Estos constituirán una primera aproximación, siendo de utilidad inmediata para las empresas forestales y organismos de planificación y guiando la investigación posterior. Al mismo tiempo, se obtienen datos adicionales y se instalan nuevos ensayos y parcelas de muestreo con el fin de mejorar estas herramientas en el futuro.

Los modelos de índice de sitio son el primer componente de un sistema de proyección de crecimiento. Ellos permiten cuantificar la productividad potencial de los terrenos forestales (calidad de sitio) y proyectar el desarrollo en altura. Para eucaliptos en Chile, se han obtenido curvas de índice de sitio para *Eucalyptus globulus* en Concepción y Arauco (Martínez, 1981; Prado y Barros, 1989). También existen algunos otros estudios para rodales de monte bajo (generados por rebrote) y para localidades restringidas (Prado y Barros, 1989). El objetivo es producir un modelo de alturas actualizado, utilizando al máximo la información existente y usando ecuaciones y técnicas compatibles con los otros componentes del sistema.

Los datos provienen de las parcelas de introducción de especies del Instituto Forestal. Habiendo sido diseñadas con otro propósito, sus características están lejos de ser las ideales para estudios de crecimiento, limitando seriamente la calidad de los resultados. Sin embargo, esta es la única fuente de datos actualmente disponible que cubre rangos de edades y geográficos adecuados. El análisis fustal, a menudo usado en estos casos, aquí no parece factible, al menos en las especies más importantes *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*, debido a la ausencia de anillos anuales bien definidos.

Otra fuente de incertidumbre es el efecto de las técnicas de establecimiento. En la actualidad se emplean prácticas de preparación de suelos y plantas, fertilización y control de malezas mucho más intensivas que en el pasado. Estas inciden en una mayor sobrevivencia y crecimiento inicial de las plantaciones, aduciendo en ocasiones que este hecho hace irrelevantes los datos históricos de crecimiento. Hay indicaciones que el efecto podría aproximarse desplazando las curvas horizontalmente en un cierto número de meses dependiendo de los tratamientos, pero el ajuste necesario aún no ha sido cuantificado adecuadamente (García, 1994b). Cabe señalar, sin embargo, que

presumiblemente en los ensayos aquí utilizados la plantación se efectuó mucho más cuidadosamente que en las plantaciones operacionales de la época y, además, hubo un efecto de selección en los datos al retener solamente las parcelas que tuvieron buena sobrevivencia. En consecuencia, parece plausible que el crecimiento inicial en las parcelas utilizadas no difiera substancialmente del obtenido actualmente con tratamientos intensivos.

En todo caso, es claro que la precisión y exactitud que se pueden esperar del modelo aquí presentado no son altas. Se trata de una primera aproximación, tal vez cercana a lo mejor que se puede conseguir con la información actualmente disponible, pero que deberá revisarse a medida que se obtengan nuevas mediciones.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Datos

Los datos utilizados provienen del programa de introducción de especies del Instituto Forestal (INFOR-CORFO, 1986) y fueron extraídos de la base de datos INTROESP (Rojas y Salas, 1984). Además se consideró usar parcelas experimentales del sistema MANPLANT de INFOR. Sin embargo, luego de un proceso de depuración y validación sólo un número muy reducido de éstas resultaron adecuadas, correspondiendo a rodales muy jóvenes. Se prefirió por lo tanto no incluirlas, manteniendo así un conjunto de datos de características más homogéneas.

Las parcelas del proyecto de introducción de especies son cuadradas, compuestas por 49 plantas espaciadas a 3 x 3 m, desde la V Región al norte, y por 100 plantas espaciadas a 2 x 2 m, desde la VI Región al sur. En ambos casos se midieron los árboles en las 25 posiciones centrales, sirviendo el resto como franjas de aislamiento (INFOR-CORFO, 1986). Es decir, las parcelas medidas tienen superficies de 225 o 100 m<sup>2</sup>. En éstas se midió en cada árbol la altura total y el diámetro a la altura del pecho (o el diámetro en la base del árbol en las mediciones iniciales).

Cabe notar que durante el análisis posterior del crecimiento en diámetro y volumen se encontró que, presumiblemente debido a la falta de plantas en el momento de la instalación del ensayo, muchas parcelas tuvieron franjas de aislamiento menores que las especificadas, o inexistentes. Es probable que en el caso de las alturas este hecho no afecte mayormente los resultados, ya que el crecimiento en altura dominante es relativamente poco sensible a las variaciones en la densidad del rodal. Es importante también apreciar que los 100 m<sup>2</sup> de la gran mayoría de las parcelas, o aún los 225 m<sup>2</sup> de algunas de ellas, es un tamaño muy inferior a lo que sería deseable para el desarrollo de modelos de crecimiento, pudiéndose esperar una alta variabilidad en las observaciones.

Se extrajo de INTROESP la información de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. delegatensis*, *E. globulus*, *E. nitens*, y *E. regnans*. Esta fue depurada, excluyendo

mediciones con información incompleta o con errores o anomalías claras. También se eliminaron parcelas con baja sobrevivencia o con muchos árboles dañados y aquellas mediciones iniciales donde se tiene sólo diámetros a la altura del cuello y no a la altura del pecho<sup>1</sup>. De las 752 parcelas y 2.405 mediciones (controles) extraídas inicialmente se retuvieron 239 parcelas con un total de 575 mediciones.

Cuadro N° 1  
DATOS

Especie	Región	Parcelas	Mediciones	UEH
<i>E. camaldulensis</i>	Norte	9	21	8, 9, 11
<i>E. delegatensis</i>	Sur	88	202	14, 16, 19, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30
<i>E. globulus</i> ssp <i>bicostata</i>	Norte	4	8	11
	Sur	5	16	19, 22
<i>E. globulus</i> ssp <i>globulus</i>	Norte	11	23	8, 9, 11
	Sur	40	92	13, 14, 19, 22, 28, 29
<i>E. globulus</i> ssp <i>maidenii</i>	Sur	3	6	13, 14, 19
<i>E. nitens</i>	Sur	17	44	14, 16, 19, 22, 23
<i>E. regnans</i>	Sur	47	119	13, 14, 16, 19, 22, 23, 28

Posteriormente se examinaron gráficamente con mayor detalle las tendencias altura-edad y las relaciones altura-diámetro para cada uno de los controles. Las mediciones que mostraron inconsistencias serias fueron eliminadas.

### Método

Para estimar el modelo se requieren al menos dos mediciones por parcela. En el Cuadro 1 se indica el número de datos finalmente utilizados. La ubicación geográfica de las parcelas se identificó de acuerdo a las Unidades Edafoclimáticas Homogéneas (UEH), obtenidas por intersección de la Clasificación Bioclimática de Di Castri y los Grandes Grupos de Suelos de Roberts y Díaz (INFOR y U. de Chile, 1979; INFOR-CORFO, 1986; Prado y Barros, 1989). Para este trabajo las UEH se agruparon en una Región Norte, correspondiente a la Región Mediterránea Semiárida de INFOR-CORFO (1986), y una Región Sur, que incluye la Región Mediterránea Central y la Región

<sup>1</sup> Aunque la depuración se hizo con vista al desarrollo de los varios componentes de los modelos de crecimiento, con algunas limitantes las parcelas sin diámetros a la altura del pecho podrían también haberse usado para el crecimiento en altura.



Océanica de Los Lagos. Esta clasificación se detalla en la Figura Nº 1 y en el Cuadro Nº 2<sup>2</sup>.

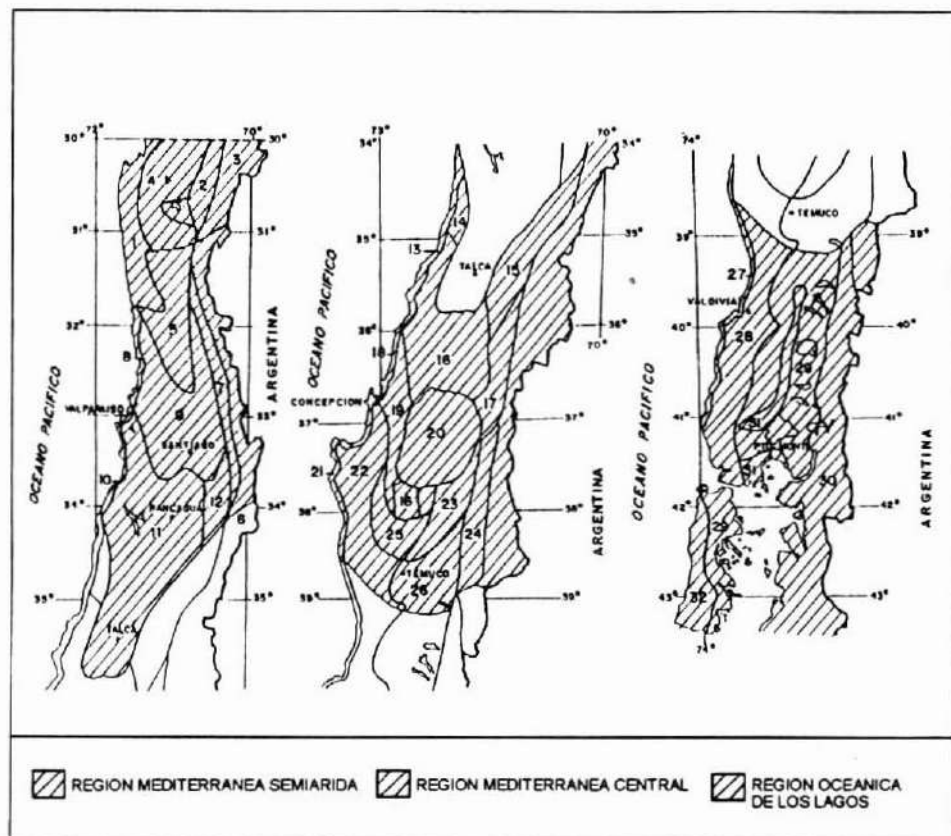


Figura Nº 1. REGIONES EDAFOCLIMÁTICAS

<sup>2</sup> Hay una inconsistencia entre los varios mapas en la asignación de la unidad Paredones. Por simplicidad aquí se la ha incluido en la Región Sur.

**Cuadro N° 2**  
**REGIONES EDAFOCLIMÁTICAS HOMOGÉNEAS**

<b>Región Mediterránea Semiárida</b>			
1	Coquimbo	7	Precordillera Salamanca - El Yeso
2	Hurtado	8	Zapallar
3	La Laguna	9	Santiago
4	Ovalle	10	Valparaíso
5	El Choapa	11	Rapel-Talca
6	Cordillera Combarbalá-Villarrica	12	San José de Maipo
<b>Región Mediterránea Central</b>			
13	Constitución	20	Arenales
14	Paredones	21	Lebu
15	Molina-Colbún	22	Arauco
16	Chillán	23	Lautaro
17	Bullileo-Polcura	24	Lonquimay
18	Tomé	25	Traiguén
19	Concepción	26	Temuco
<b>Región Oceánica de Los Lagos</b>			
27	Puerto Saavedra	30	Cordillera Sur
28	Valdivia	31	Ñadis
29	Los Lagos	32	Chiloé Poniente

### Altura Dominante

Los modelos de crecimiento, y en particular los de índice de sitio, utilizan generalmente alguna medida que representa la altura de los árboles más grandes, llamada altura dominante o altura superior. Esta es preferible a la altura media porque su crecimiento es relativamente insensible, dentro de ciertos rangos, a las diferencias de densidad de rodal. Así mismo, no es mayormente alterada por los raleos, los que cambian la altura media al remover los árboles de menor tamaño.

Se ha usado una variedad de definiciones de altura dominante. Una de las más comunes y recomendables se basa en un número fijo de los árboles mayores, por ejemplo los 100 mayores por hectárea. En la práctica, si se tiene una parcela de 1/10 o 1/20 de hectárea se eligen los 10 o los 5 árboles mayores en la parcela, respectivamente. La selección puede ser de los árboles más altos o de los de mayor diámetro, y una altura representativa para éstos se puede calcular en una variedad de formas, ya sea con alturas medidas directamente o estimadas con una regresión altura-diámetro.

En realidad, no es difícil darse cuenta que el valor esperado de los 100 árboles mayores en una hectárea es más alto que el del de los 10 mayores en 1/10 o el de los 5 mayores en 1/20. Probablemente las diferencias no son grandes si se usan siempre parcelas de tamaños parecidos. En este caso, sin embargo, la altura del árbol más grande en las parcelas de 100 m<sup>2</sup> (1/100 ha) no sería comparable con alturas dominantes obtenidas de las parcelas de 500 o 1000 m<sup>2</sup> comúnmente usadas en

inventarios y recomendadas para parcelas permanentes. Además, una medida basada en un solo árbol tendría una variabilidad bastante alta y no sería muy confiable.

Por estos motivos fue necesario investigar modos de reducir el sesgo debido al tamaño de parcela y la variabilidad de los valores calculados. Brevemente, el procedimiento finalmente adoptado, luego de probar algunas otras alternativas, se puede describir como sigue. Se define la altura dominante como la que correspondería al cuantil  $1 - 45/N$  de la distribución diamétrica, donde  $N$  es el número de árboles por hectárea. Bajo ciertos supuestos, ésta se aproxima a la basada en los 100 mayores por hectárea calculada con parcelas de entre 500 y 1000 m<sup>2</sup>. Ahora, teniendo esta definición, se necesita un método de estimación. Este consistió en ajustar una distribución Weibull para los diámetros, calcular una regresión altura-diámetro y tomar la altura correspondiente al cuantil apropiado. El método dio buenos resultados considerando el reducido tamaño de las muestras.

## Edades

Los árboles crecen a tasas variables en distintas épocas del año. El crecimiento es mínimo o nulo en invierno, alcanzando un máximo en primavera o verano (en algunos casos la escasez de agua limita el crecimiento en verano, produciéndose dos máximos relativos). Además, el transcurso del crecimiento en altura difiere del crecimiento en diámetro, con este último generalmente prolongándose por más tiempo y alcanzando el máximo más tardíamente.

En consecuencia, para determinar incrementos las parcelas permanentes deberían medirse siempre cerca de una misma fecha, preferiblemente en el periodo de receso o crecimiento mínimo para reducir el impacto de las variaciones meteorológicas, del desarrollo distinto en altura y diámetro, y de las diferencias en fechas de medición. Esto es particularmente importante con especies de crecimiento rápido, ya que de otro modo habrá una incertidumbre importante en la magnitud efectiva de los intervalos entre mediciones. Es posible introducir ciertas correcciones basadas en información de crecimiento intra-anual (semanal o mensual) (García, 1979), pero, por las razones indicadas, a medida que la fecha de medición se aleja de la de crecimiento mínimo éstas son menos efectivas.

Lamentablemente, las parcelas de introducción de especies han sido remedidas en fechas variadas y, en la mayoría de los casos, en plena temporada de crecimiento. Para paliar en parte este problema se usaron ajustes de edad como en García (1979), basados en el crecimiento intra-anual de pino radiata en Nueva Zelanda (un compromiso entre altura y diámetro), ya que aún no existe información confiable sobre el crecimiento intra-anual de los eucaliptos en Chile. La corrección consistió en sumar los siguientes valores a las edades nominales, según el mes de medición:

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

## Modelos y Estimación de Parámetros

El crecimiento en altura se representó con la comúnmente usada ecuación de Richards.

$$H = a(1 - e^{-bt})^{1/c} \quad (1)$$

En esta ecuación,  $H$  es la altura dominante y  $t$  es la edad. El parámetro  $a$  es la asíntota o altura máxima alcanzada por la curva altura-edad,  $b$  es un factor que afecta la escala de tiempos (y la tasa de crecimiento para una altura dada) y  $c$  determina la altura relativa del punto de inflexión.

En una familia de curvas de índice de sitio uno de estos parámetros (o alguna función de ellos) varía de un rodal a otro de acuerdo a la calidad de sitio, mientras que los otros son constantes comunes a todos los rodales. En lugar de usar directamente el parámetro que varía, se acostumbra a identificar una curva individual por la altura alcanzada a cierta edad clave elegida convencionalmente. La altura a la edad clave es el índice de sitio (García, 1983, 1994a).

Se probaron dos tipos de modelos para los índices de sitio. En el primero, el parámetro que varía con el sitio (parámetro local) fue la asíntota  $a$ , produciendo curvas "anamórficas", es decir, que difieren entre sí por un cambio de escala en el eje  $H$ . En el segundo tipo de modelo el parámetro local fue  $b$ , resultando curvas que difieren en la escala de los  $t$ .

Para estimar los parámetros se utilizó el procedimiento descrito por García (1983). Este se basa en representar la variabilidad de las observaciones por un cierto proceso aleatorio que perturba las tasas de crecimiento, incluyéndose también errores de medición aleatorios. Con este modelo probabilístico se puede calcular la probabilidad que el modelo generara los datos observados para distintos valores de los parámetros, la llamada función de verosimilitud. Las estimaciones de máxima verosimilitud son aquellos valores de los parámetros para los cuáles dicha función toma el valor más alto posible. Este máximo se encuentra con un algoritmo especializado que entrega simultáneamente todos los parámetros, tanto globales como locales.

Este método de estimación es matemática y computacionalmente complejo. Sin embargo, con el software adecuado es relativamente fácil de aplicar y produce estimadores con buenas propiedades, obteniendo el máximo provecho de la información disponible. Esto es especialmente importante en este caso dada la escasez y variabilidad de los datos. De hecho, no está claro como podrían haberse obtenido curvas de índice de sitio usando los métodos más tradicionales.

El valor de la función de verosimilitud puede usarse en forma aproximada para comparar modelos alternativos y para pruebas de hipótesis. En comparaciones donde el número de parámetros varía, diversas teorías sugieren restar del logaritmo de la verosimilitud (LV) entre 1/2 y 3 unidades por cada parámetro adicional, y considerar como "significativas" diferencias de más de dos unidades luego de este ajuste (García, 1984). Por ejemplo, al combinar dos conjuntos de datos habría 4 parámetros menos que al usar modelos separados (un  $a$  o  $b$  global,  $c$  y dos varianzas). Por lo tanto, una diferencia entre la LV agregada y la suma de las LV separadas que excediera algún valor de entre 4 y 14 unidades podría considerarse como evidencia en contra del agrupamiento.

## RESULTADOS

Las posibles diferencias en las relaciones altura-edad entre especies y unidades edafoclimáticas se analizaron exhaustivamente con métodos gráficos y estadísticos. Los datos se graficaron agregándolos de varias maneras y usando colores y transparencias para identificar y contrastar diversos grupos de parcelas. Se ajustaron modelos para distintos conjuntos de datos, comparando los valores obtenidos para los parámetros y la función de verosimilitud. Aquí solamente se pueden resumir algunos de los aspectos más relevantes.

Botánicamente *Eucalyptus globulus* y *E. nitens* están estrechamente relacionados, perteneciendo ambos al grupo denominado "Southern Blue Gums". Del mismo modo, *E. delegatensis* y *E. regnans* pertenecen ambos al grupo "Ash".

### *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*

En la Figura N° 2 se muestran los datos para los "Blue Gums", junto con las curvas obtenidas con éstos. El modelo con  $b$  como parámetro local produjo un mejor ajuste en este caso, con una asíntota  $a = 75,3$  metros y  $c = 0,863$ . Los errores estándar estimados para  $a$  y  $c$  con 8,5 y 0,058, respectivamente. Con la mayoría de los agrupamientos de datos este tipo de modelo dio la verosimilitud más alta, o en caso contrario un valor cercano al del anamórfico. Como su uso es algo más conveniente para los desarrollos posteriores se ignorarán los modelos ajustados con  $a$  local en lo que sigue.

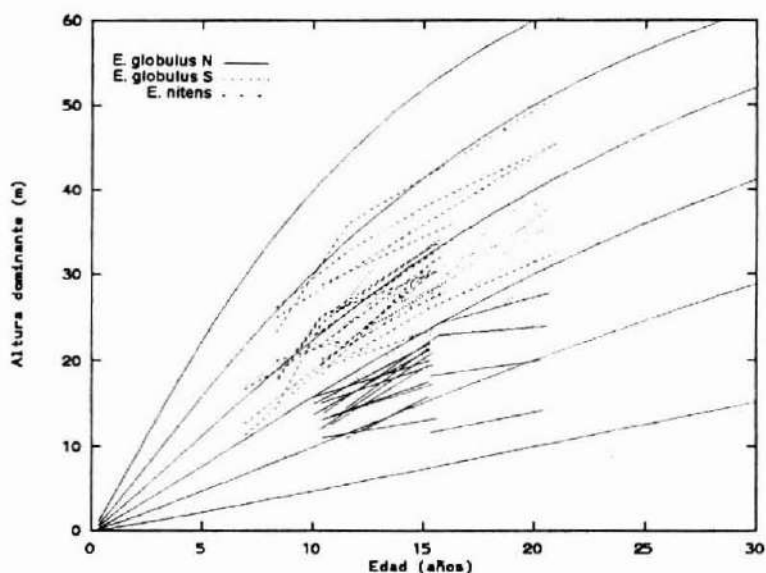


Figura Nº 2. DATOS Y CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO PARA *E. globulus* y *E. nitens*

Como era de esperar por su origen los datos muestran una muy alta variabilidad. Sin embargo, las curvas parecen representar razonablemente bien la tendencia general y una altura máxima de 75 metros es bastante plausible para estas especies. Las parcelas de la Región Norte presentan generalmente calidades de sitio inferiores, pero no hay desviaciones consistentes de la forma de las curvas del modelo. Usando solamente los datos de la Región Sur se obtiene un modelo muy parecido, con  $a = 74,4$  y  $c = 0,849$ . Separadamente, la Región Norte da una asíntota de 34,1 m, pero el número de mediciones es bastante exiguo. La diferencia de 6,5 unidades entre las LV (log-verosimilitudes) obtenidas combinando o no las regiones no es concluyente.

Al considerar las especies, se nota en la Figura Nº 2 un cierto número de pares de mediciones en *E. globulus*. Región Sur, con incrementos altos. Esto hace que al ajustar el modelo usando solamente los datos de esta especie, para la región Sur o para el total, se obtienen asíntotas de 247 y 159 m, respectivamente. La asíntota para *E. nitens* es de 63 m. El incremento de la LV al separar las dos especies, sin embargo, es de sólo 5,5. La información sobre las sub-especies de *E. globulus* es demasiado escasa como para indicar diferencias claras.

Se puede concluir que, por el momento, los datos sugieren el uso de un modelo único para ambas especies en el área estudiada. Obviamente, en el futuro una base de datos más extensa y más precisa podrá justificar modelos más específicos.

### **Eucalyptus delegatensis**

Se dispone de bastantes datos de esta especie, pero las tendencias altura-edad muestran poca consistencia (Figura N° 3). Examinando en detalle la información se observó que todos los parámetros muestran gran variabilidad, tanto entre parcelas como dentro de ellas. Generalmente se encuentra un rango muy amplio de diámetros y alturas dentro de cada parcela, con algunos árboles muy pequeños en relación a los árboles mayores. La razón de esto no está clara, tal vez una alta heterogeneidad en el material genético, en la técnica de plantación o una alta sensibilidad de la especie a ésta o a las variaciones de micrositio.

El modelo con  $b$  local dio  $a = 83,8$  y  $c = 0,876$ . Como se puede ver en la Figura 3, dentro del rango de los datos las curvas son similares a las obtenidas para los Blue Gums.

### **Eucalyptus regnans**

Los datos de esta especie se muestran en la Figura N° 4. Se aprecia bastante variabilidad, con las líneas que representan los incrementos entrecruzándose a menudo. Al graficar las mediciones de altura vs. diámetro para cada parcela se observó con frecuencia una forma aplanada en esta relación, sin una tendencia creciente para los árboles mayores. Esto podría deberse a daño apical u otras causas, contribuyendo posiblemente a la variabilidad de las alturas dominantes estimadas.

Con estos datos el procedimiento de estimación no pudo converger a una solución similar a las anteriores. Fijando la asíntota  $a$  en un valor de 75 metros se obtuvo una solución con  $c = 0,797$ . Las curvas para esta última se muestran en la Figura N° 4 junto con las de los Blue Gums.

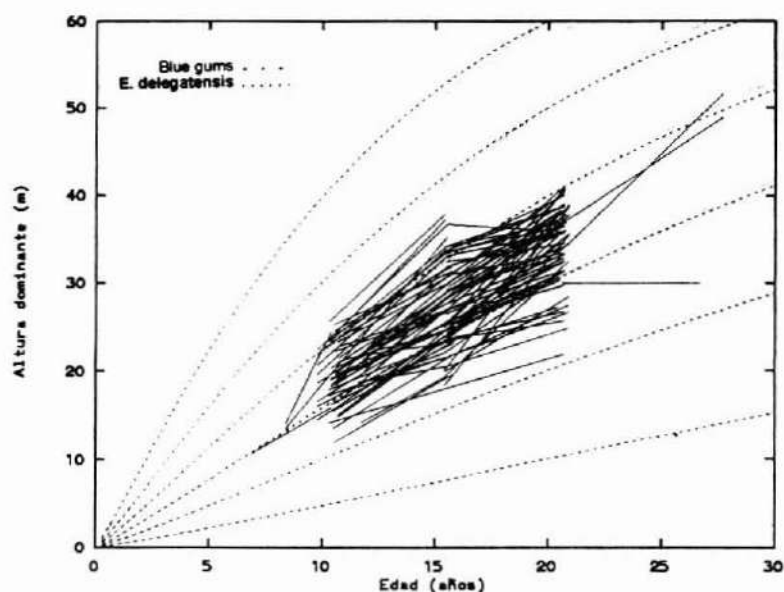


Figura Nº 3. DATOS DE *E. delegatensis*. (CURVAS OBTENIDAS CON ESTOS DATOS Y CON AQUELLOS DE LOS BLUE GUMS).

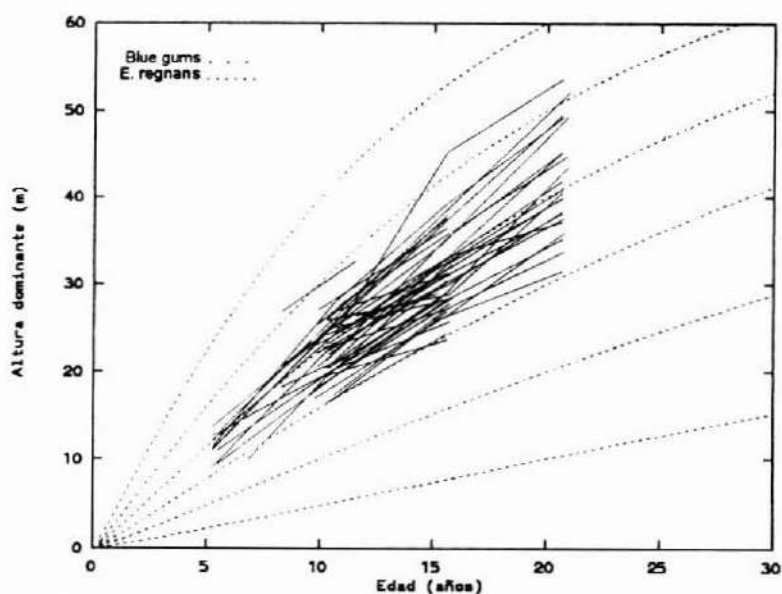


Figura Nº 4. DATOS DE *E. regnans*. (CURVAS OBTENIDAS FIJANDO  $A = 75$  COMPARADAS CON LAS DE LOS BLUE GUMS).



## Eucalyptus camaldulensis

Claramente, la cantidad de datos de esta especie no permite obtener un modelo confiable. Sin embargo, estos no parecen incompatibles con el modelo para los Blue Gums (Figura N° 5).

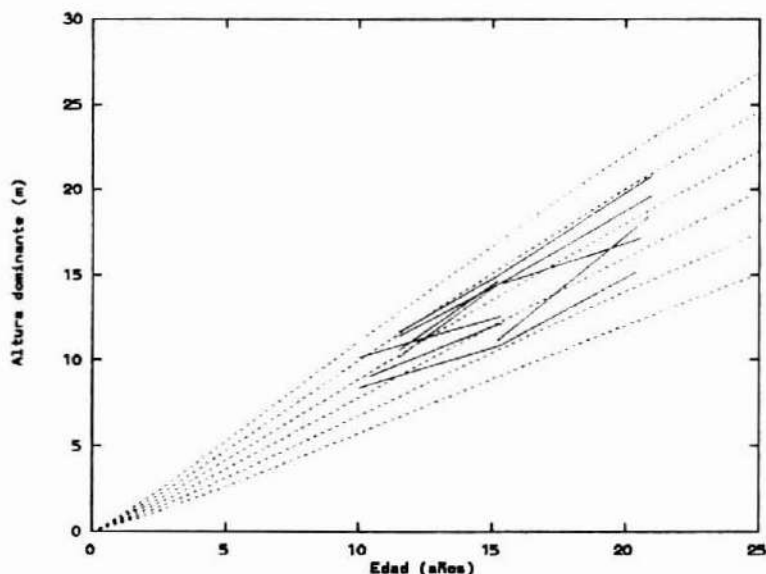


Figura N° 5: DATOS DE *E. camaldulensis* y CURVAS PARA *E. globulus* y *E. nitens*

## Datos Combinados

Se ajustaron también modelos agrupando la información en varias formas y fijando la asíntota a priori a un valor razonable.

Un modelo con todos los datos combinados dio  $a = 99,1$  y  $c = 0,930$ . Comparado con el uso de dos modelos, uno para los Blue Gums y otro para el resto, la LV disminuye en 6,9 unidades. Las curvas para cada uno de éstos se comparan en la Figura N° 6.

La asíntota para el grupo de los "no Blue Gums" resultó muy alta, 174 m, seguramente por la influencia de algunos de los datos de *E. regnans*. Se repitió entonces el ejercicio del párrafo anterior, pero fijando  $a$  en 75 m. Se obtuvieron valores de  $c$  de 0,862, 0,811 y 0,828 para "Blue Gums", "no Blue Gums" y el total, respectivamente. La diferencia en LV fue de 4,5. Para el total, el fijar la asíntota en 75 m en lugar de dejarla libre redujo la LV en 3,0 unidades.

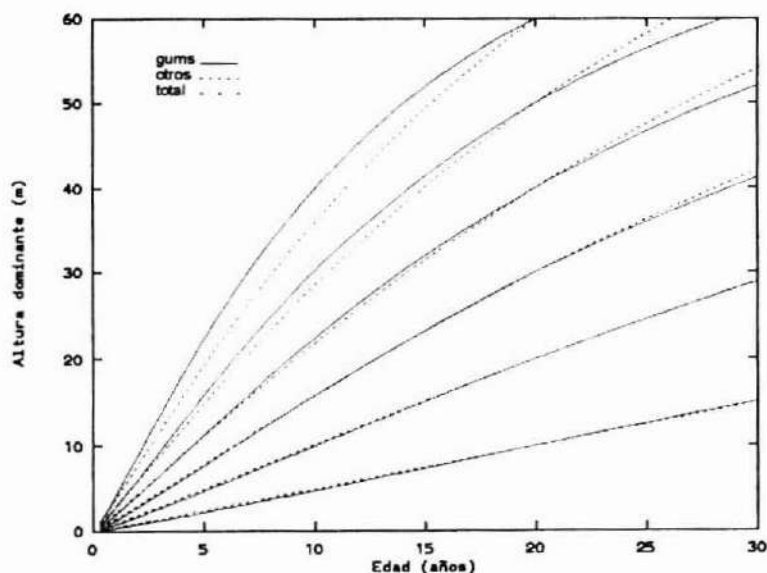


Figura N° 6. MODELOS PARA BLUE GUMS, OTRAS ESPECIES Y EL TOTAL DE DATOS

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque la gran variabilidad en los datos disponibles es obvia, es necesario contar con proyecciones de crecimiento por inciertas que éstas sean. Los resultados indican que se puede contar con un modelo aceptable de crecimiento en altura e índices de sitio para ser usado mientras no se disponga de información más confiable.

No se encontró evidencia clara de diferencias importantes en la forma de las tendencias altura-edad entre especies o regiones. Las mayores dudas corresponderían a los sitios de mejor calidad en *E. regnans* (Figura N° 4). Sin embargo, la información de *E. regnans* y la de *E. delegatensis* es la que presenta mayores inconsistencias e incertidumbre. Considerando además la gran importancia económica que tienen actualmente *E. globulus* y *E. nitens*, se recomienda adoptar por el momento para todas las especies de eucalipto el modelo obtenido con los datos de estas últimas.

El modelo de crecimiento en altura es:

$$H = 75,3(1 - e^{-bt})^{1/0,863} \quad (2)$$

Ecuación en la que  $H$  es la altura dominante en metros y  $t$  es la edad en años. El parámetro  $b$  varía con la calidad de sitio. Dada una observación de edad y altura, éste puede ser estimado despejándolo en (2):

$$b = -\ln\left[1 - (H / 75,3)^{0,863}\right] / t \quad (3)$$

El índice de sitio  $S$  se define como la altura que se alcanzaría a cierta edad índice o clave  $t_s$ . Su relación con  $b$  se obtiene por lo tanto substituyendo  $H$  y  $t$  por  $S$  y  $t_s$  en (2) o (3). Eliminando  $b$ , la relación altura-edad en (2) se puede escribir directamente en términos del índice de sitio:

$$H = 75,3 \left\{ 1 - \left[ 1 - (S / 75,3)^{0,863} \right]^{t/t_s} \right\}^{1/0,863} \quad (4)$$

Igualmente, dada una observación de  $H$  y  $t$  el índice de sitio estimado es:

$$S = 75,3 \left\{ 1 - \left[ 1 - (H / 75,3)^{0,863} \right]^{t_s/t} \right\}^{1/0,863} \quad (5)$$

La edad clave  $t_s$  es un punto de referencia puramente convencional. Puede elegirse arbitrariamente como cualquier valor conveniente, aunque se acostumbra usar alguna edad algo inferior a las rotaciones usuales para la especie. Para el gráfico de curvas de índice de sitio en la Figura N° 7 se selecciona una edad clave de 20 años, superior a las rotaciones preferidas actualmente para eucaliptos pero igual a la edad clave usada para pino radiata en Chile. Conversiones entre índices de sitios para diferentes edades claves pueden hacerse con la ecuación (4).

Es interesante comparar estas curvas con las obtenidas por Martínez (1981) para *E. globulus* en las zonas de Concepción y Arauco (Figura N° 8). Aunque la forma de las curvas difiere considerablemente, en comparación visual con los datos ambos modelos parecen razonables, con ejemplos de parcelas que se ajustan mejor a las tendencias indicadas por uno u otro de los modelos. Es probable que las nuevas curvas sean algo más confiables, habiendo sido obtenidas con una base de datos más extensa y técnicas más avanzadas. Sin embargo, el hecho que la información disponible no discrimine en forma tajante entre modelos tan diferentes pone de manifiesto la incertidumbre de las proyecciones. Para contar con modelos de crecimiento satisfactorios habrá que aguardar la instalación y remediación de parcelas permanentes en número suficiente y con estándares adecuados para este propósito.

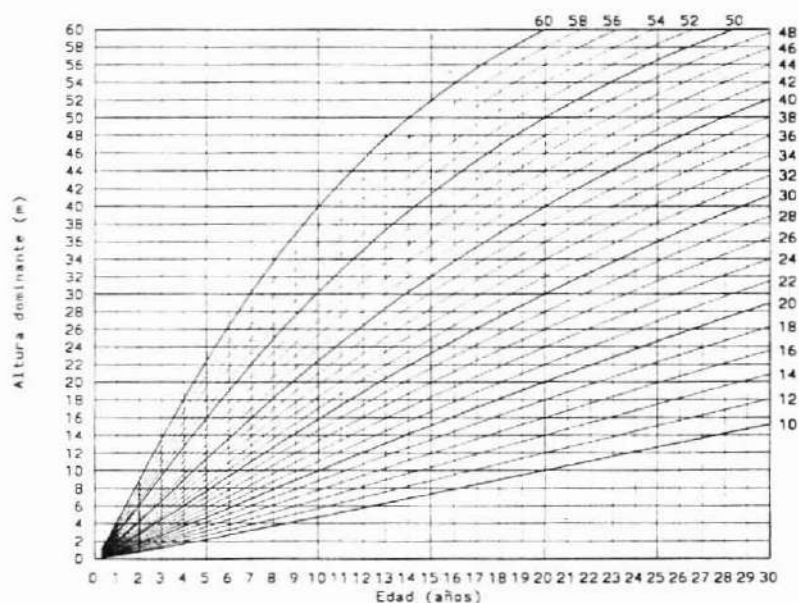


Figura N° 7. CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO PARA EUCALIPTOS. ECUACIÓN (4), EDAD CLAVE 20 AÑOS.

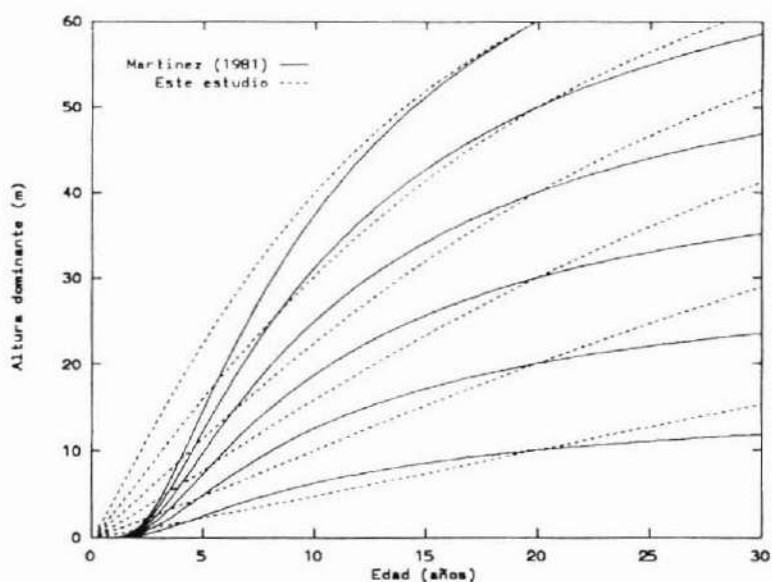


Figura N° 8. COMPARACIÓN DE CURVAS DE ÍNDICE DE SITIO

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del proyecto CONICYT-FONDEF 2-33 "Antecedentes Biométricos y Modelos de Apoyo a la Gestión y Manejo Racional del Eucalipto". El Instituto Forestal actúa como unidad ejecutora, con la colaboración de las siguientes empresas: Forestal y Agrícola Monteáguila, Bosques Arauco, Dos Alamos, Forestal A. C. E., Forestal Anchile, Forestal Angol, Forestal Bio Bio, Forestal Cholguán, Forestal Los Lagos, Forestal Millalemu, Forestal Mininco, Forestal Probosque, Forestal Tierra Chilena, Forestal Tornagaleones, Gafonac, Hacienda Chorombo, Inversiones Forestales C. C. A.

## REFERENCIAS

- García, O. , (1979).** Modelling Stand Development with Stochastic Differential Equations. In Elliott, D.E. (Ed.), Mensuration Systems for Forest Management Planning, pp. 315-334 Forest Research Institute Symposium No. 20. New Zealand Forest Service.
- García, O., (1983).** A Stochastic Differential Equation Model for the Height Growth of Forest Stands. *Biometrics*, 39, 1059-1072.
- García, O., (1984).** New Class of Growth Models for Even-aged Stands: *Pinus radiata* in Golden Downs Forest. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 14, 65-88.
- García, O., (1994a).** The State-space Approach in Growth Modelling. *Canadian Journal of Forest Research*, 24, 1894-1903.
- García, O., (1994b).** Un Método Simple para Evaluar Técnicas de Establecimiento. En Barros A., S., Prado D., J. A., y Alvear S., C. (Eds.), *Actas Simposio Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile*, pp. 295-301. Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- INFOR, y U. de Chile, (1979).** Areas Cubiertas con Ensayos de Introducción de Especies y Ubicación de Nuevas Experiencias. Actividad I.2.2 Introducción de Especies Forestales. Informe II, Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI-76-003.
- INFOR-CORFO, (1986).** Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Gerencia de desarrollo AF 86/32, Instituto Forestal, Corporación de Fomento de la Producción.
- Martínez C. A., (1981).** Indices de Sitio para *Eucalyptus globulus* (Lab.) de la Zona de Concepción y Arauco. Tesis para optar al título de ingeniero forestal, Universidad de Chile, Escuela de Ciencias Forestales.
- Prado D., J. A., y Barros A., S., (1989).** *Eucalyptus*, Principios de Silvicultura y Manejo. Corfo, Gerencia de Desarrollo AF-89/06, Instituto Forestal, Corporación de Fomento de la Producción.
- Rojas V., P., y Salas G., G., (1984).** Sistema Computacional INTROESP (Introducción de Especies Forestales). *Chile Forestal*, N° 108,22-23, Sept.

# CRECIMIENTO HASTA LOS 42 - 44 MESES DE EDAD Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE 23 PROCEDENCIAS Y 196 FAMILIAS DE *Eucalyptus camaldulensis* Denh EN CUATRO SITIOS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE.

CARLOS ALVEAR S. (\*) y BRAULIO GUTIÉRREZ C. (\*\*)

(\*) Médico Veterinario, Doctorado en Ciencias Agrarias. Instituto Forestal (INFOR). Santiago, Chile.

(\*\*) Ingeniero Forestal (e). Instituto Forestal (INFOR). Santiago, Chile.

## RESUMEN

*Se analiza la variación en crecimiento juvenil y sobrevivencia a los 42 - 44 meses de edad, de 196 familias australianas y dos testigos nacionales de *Eucalyptus camaldulensis* establecidas en cuatro sitios de la zona central de Chile (32 - 35° Lat. Sur). También se estiman heredabilidades individuales para las características de crecimiento y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre estas variables.*

*Se constata la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre procedencias y dentro éstas, confirmandose a algunas familias procedentes de los lagos Hindmarsh y Albacutya, del Estado de Victoria, como las de mayor crecimiento.*

*Las heredabilidades individuales asociadas a las variables de crecimiento son en general bajas, sugiriendo que las ganancias genéticas que pueden lograrse en base a selección individual y propagación por semillas serán escasas.*

*Se concluye que un índice de selección aplicado a nivel de familias es la estrategia más adecuada para un programa de mejoramiento genético de la especie, y que la selección debe orientarse principalmente familias a procedentes del estado de Victoria.*

**Palabras clave :** *Eucalyptus camaldulensis*, Procedencia, Progenies, Crecimiento inicial, Parámetros genéticos.

## **ABSTRACT**

*The variation in early growth and survival at 42 - 44 months old in 196 australian progenies and two national control-progenies of **Eucalyptus camaldulensis** established in four sites in the central zone of Chile (32- 35° South Latitude) is assesed. The individual heritability and both, the genetical and phenotypical correlations between these variables are also estimated.*

*Statistical differences were found within and between the provenances. Some progenies from Lakes Albacutya and Hindmarsh (Victoria) are confirmed as the highest growths.*

*The individual heritabilities linked to the growth variables are low, suggesting a low genetic gain obtainable from individual selection and seed propagation.*

*The family selection or the selection index will be the most suitable strategy for a genetic improvement program with this specie. This program should consider mainly progenies from Victoria.*

**Keywords :** *Eucalyptus camaldulensis, Provenances, Progenies, Early growth, Genetic parameter.*

## INTRODUCCIÓN.

El Instituto Forestal inició en 1962 un amplio programa de introducción de especies forestales, cuyos múltiples ensayos permitieron concluir que *Eucalyptus camaldulensis* es una de las especies más apropiadas para forestar y reforestar las zonas semiáridas del país (INFOR, 1986).

Posteriormente, y en base a los resultados de los ensayos anteriores, se establecieron ensayos de procedencias de *E. camaldulensis*, los que confirmaron la excelente adaptación de esta especie a las zonas semiáridas de Chile y arrojaron los primeros indicios de la gran variabilidad intraespecífica que ella exhibe (Barros, 1990).

Ultimamente, en el marco definido por el proyecto de Mejoramiento Genético del Eucalipto, y considerando que las ganancias genéticas que un programa de este tipo puede generar son consecuencia directa de la amplitud y variabilidad representada en la base genética con que se trabaja (poblaciones bases), el Instituto Forestal procedió a realizar una importación de semillas provenientes de importantes zonas del área de distribución natural de la especie en Australia. Esta semilla después de haber sido viverizada se estableció en cuatro ensayos de procedencias y progenies, cuyo desarrollo y comportamiento se analiza en este documento.

La importancia de contar con una base genética amplia, como la establecida por INFOR, radica en que permite obtener una mayor ganancia genética, además de mantener una población desde la cual seleccionar material para satisfacer las necesidades de un programa de mejoramiento de largo plazo.

Las evaluaciones del crecimiento juvenil en las poblaciones bases son una etapa fundamental en los proyectos de mejoramiento genético. El largo plazo involucrado en estos programas hace deseable que se reduzca el tiempo comprendido entre cada generación de mejoramiento y esto indudablemente se puede conseguir al hacer la selección de los individuos lo más tempranamente posible.

Sin duda que las selecciones tempranas conllevan mucho riesgo, siendo estas más precisas en la medida que los árboles se acercan a la madurez. Aún así, las evaluaciones del crecimiento juvenil resultan imprescindibles para establecer en el futuro la correlación juvenil-adulto, de modo que este seguimiento permita determinar, para cada característica de interés, la edad mínima a la que se puede hacer una selección confiable (Infante y Prado, 1989).

Por otra parte, la estimación de parámetros genéticos constituye una invaluable herramienta para la toma de decisiones en el proceso de mejoramiento. La estimación de parámetros como la heredabilidad a lo largo del tiempo, permite determinar el momento en que esta se estabiliza y se hace más eficiente la selección. Además, el contar con una evaluación del grado en que cada característica de interés es transmitida



desde los progenitores a su descendencia, resulta fundamental para determinar, en conjunto con el diferencial de selección, la ganancia genética asociada a una determinada estrategia de selección.

Por último, la evaluación económica de la ganancia esperada constituirá el parámetro que determine el impacto del programa de mejoramiento.

En virtud de lo anterior, en este documento se analizan las variables de crecimiento en etapa juvenil de procedencias y progenies de *E. camaldulensis* y se estiman los parámetros genéticos asociados a estas variables.

## OBJETIVOS

Evaluar la variabilidad en crecimiento juvenil de *E. camaldulensis* e individualizar las procedencias y progenies más adecuadas para maximizar la producción volumétrica en las plantaciones que se establezcan en la zona central de Chile.

Determinar parámetros genéticos para las variables de crecimiento de la especie.

## MATERIAL Y MÉTODO

Para dar cumplimiento a los objetivos enunciados se utilizó la información correspondiente de cuatro ensayos de procedencias y progenies de *E. camaldulensis*, realizados a edades entre 42 y 44 meses.

Las variables consideradas fueron la sobrevivencia (SOB), altura total (ALT), diámetro de cuello (DAC) cuando las plantas presentaban menos de 1,3 m de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) cuando las plantas superaban los 1,3 m de altura. También, se consideró a la variable  $D^2H$ , por cuanto combina en un solo valor al diámetro y la altura, siendo un buen estimador del crecimiento en volumen (Infante y Prado, 1991).

### Antecedentes de la Colección de Semillas.

La colección de semillas empleada en los ensayos es una muestra que representa algunas zonas del área de distribución natural de la especie, encontrándose caracterizada en el Cuadro N°1. La semilla se encuentra individualizada según lugar de origen (procedencia) y árbol madre (familia). La colección representada en los ensayos incluye 23 procedencias y 196 familias australianas, a las que se agregan como testigos dos procedencias de raza local: La Ligua y Lolol.

Cuadro N° 1.

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus camaldulensis* CONSIDERADAS EN LOS ENSAYOS.

PRO- CE- DEN- CIA	LUGAR DE ORIGEN	(1)	N°	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)		PRECIPI- TACION (mm)	LAT. (L.S.)	LONG. (L.W.)	ALT. (msnm)
				MINIM	MAXIM				
1	Wimmera R/Elmhurst	VIC	8	8	19	617	37°13'	143°16'	325
2	Wimmera R/Glenorch	VIC	12	9	22	448	36°55'	142°34'	170
3	Lake Hindmarsh	VIC	10	8	22	419	36°08'	141°27'	75
4	Outlet Creek Rainbow	VIC	13	8	22	419	35°49'	141°36'	75
5	S. Lake Albacutya	VIC	12	8	22	419	35°48'	141°30'	70
6	E. Lake Albacutya	VIC	11	8	22	419	35°46'	142°25'	70
7	N. Lake Albacutya	VIC	12	8	22	419	35°42'	141°21'	70
8	Lowan Valley-Saline	VIC	10	9	22	448	35°50'	141°48'	135
9	Avon River-Navarre	VIC	10	8	19	617	36°52'	143°57'	280
10	Umberumberka Creek	NSW	10	12	27	254	31°53'	141°56'	210
11	Port Lincoln	SA	10	12	21	486	34°35'	135°38'	90
12	Katherine	NT	12	20	34	952	14°29'	132°15'	95
13	Katherine	NT	8	20	34	952	14°26'	132°18'	95
14	Eocles Creek-Petford	QLD	10	20	26	800	17°17'	145°03'	500
15	Pinnacle Creek-Pet	QLD	5	14	26	800	17°13'	145°01'	460
16	Mishap Creek-Petford	QLD	5	14	26	800	17°11'	145°07'	520
17	Eureka Creek-Petford	QLD	5	14	26	800	17°15'	145°05'	520
18	Wales Siding-Petford	QLD	10	14	26	873	17°22'	145°12'	780
19	Emu Creek-Petford	QLD	5	14	26	800	17°21'	144°57'	460
20	Emu Gibbs-Petford	QLD	5	14	26	1.116	17°25'	145°02'	500
21	Gibbs-Petford	QLD	5	14	26	873	17°25'	145°11'	700
22	Chinamans-Petford	QLD	5	14	26	1.116	17°24'	145°10'	680
24	Emu Creek-Petford	QLD	3	14	26	873	17°26'	145°02'	520

- (1) VIC : Victoria.  
NSW : New South Wales.  
NT : North Territory.  
SA : South Australia.  
QLD : Queensland.  
N° : Número de progenies en la procedencia.

### Ensayos Considerados

Los ensayos considerados en este estudio fueron establecidos en 1989 y 1991, en las cuatro localidades que se señalan en el Cuadro N° 2.

Los cuatro ensayos fueron establecidos con plantas producidas en macetas en el vivero del Instituto Forestal, sobre sitios planos a ligeramente ondulados, con una intensiva preparación de suelo. Ellos han sido manejados con un esquema de silvicultura intensiva que incluye control de malezas y fertilización.

Cuadro N° 2.

UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE *Eucalyptus camaldulensis* ESTABLECIDOS EN CHILE.

ENSAYO	MEL-MEL (1)	LONGOTOMA (2)	TANTEHUE (3)	LA PAILA (4)
Región	V	V	RM	VI
Provincia	Valparaíso	Petorca	Santiago	Colchagua
Comuna	Casablanca	La Ligua	Melipilla	La Paila
Latitud S.	33°23'	32°21'	33°32'	34°43'
Longitud W.	71°24'	71°26'	71°14'	71°39'
Altitud (msnm)	250	58	240	300
Año de Establec.	1989	1989	1991	1991
Prec. Med. Anual (mm)	455	308	419	398
Temp. Med. Anual (°C)	13,3	14,3	13,6	14,1
Periodo Seco (N° meses)	7-9	7-9	8	7

### Diseño Experimental.

El diseño experimental empleado en todos estos ensayos es el de "Bloques de Familias Compactas", o de parcelas divididas, en donde la parcela principal es la procedencia. Las familias se distribuyen al azar en subparcelas de 4 plantas en línea, dentro de cada procedencia. El diseño de cada ensayo consta de 10 repeticiones. Los ensayos fueron rodeados por dos líneas de aislamiento.

### Análisis Estadístico.

Para determinar las diferencias en el desarrollo de las plantas tanto a nivel de procedencias como de familias, se realizaron análisis de varianza. Las comparaciones entre medias se efectuaron empleando la Prueba de Scheffe. En algunos de los ensayos sólo se consideró parte de la información, por estimarse que la inclusión de algunos bloques distorsionaría los resultados.

Además se estimaron la heredabilidad ( $h^2$ ) y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las variables estudiadas: ALT, DAC para los ensayos 1 y 2, y ALT, DAP y D<sup>2</sup>H, para los ensayos 3 y 4.

El modelo estadístico utilizado en la estimación de los parámetros genéticos en cada uno de los ensayos fue un modelo anidado completamente al azar, considerando los siguientes factores (Becker, 1988):

$$y_{ijkl} = \mu + b_i + p_j + f(p)_{jk} + b_i x p_j + b_i x f(p)_{jk} + E_{ijkl}$$

donde:

$\mu$	=	Media poblacional.
$y_{ijk}$	=	Variable en estudio.
$b_i$	=	Efecto aleatorio del $i$ -ésimo bloque.
$p_j$	=	Efecto aleatorio de la $j$ -ésima procedencia.
$f(p)_{jk}$	=	Efecto aleatorio de la $k$ -ésima familia dentro de la $j$ -ésima procedencia.
$b_i \times p_j$	=	Efecto de la interacción entre bloque y procedencia.
$b_i \times f(p)_{jk}$	=	Efecto de la interacción entre bloque y familia dentro de procedencia.
$E_{ijk}$	=	Error experimental.

La heredabilidad individual fue estimada siguiendo el mismo procedimiento de Whitemann et al. (1992), donde:

$$h^2 = \frac{2.86 * Varianza \cdot f}{Varianzas \cdot (b + f + b * f(p) + Error)}$$

El factor 2.86 se basa en el supuesto que la tasa de cruzamiento exogámico es de aproximadamente un 80%, lo cual se considera normal en el caso de familias de polinización abierta, especialmente cuando la semilla se ha colectado en bosques nativos, lo que determina un coeficiente de parentesco de 0,35; cuyo valor recíproco se asemeja a 2,86.

La heredabilidad y correlación genética (con sus respectivos errores estandar) promedio ponderado de todos los ensayos se calculó según Cunningham et al. (1977), en cambio la correlación fenotípica promedio se obtuvo del promedio aritmético simple.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Crecimiento Juvenil.

Se entregan, separados por ensayo, los resultados promedios de sobrevivencia (%), ALT (m), DAC (cm) y D<sup>2</sup>H (m<sup>3</sup>), para cada una de las procedencias.

#### - Ensayo 1 (Mel-Mel)

Los resultados de este ensayo, evaluado a los 44 meses de edad se presentan en el Cuadro N°3. Se puede observar que, el testigo presenta una sobrevivencia de sólo de

62,5%. La altura promedio es similar a la del ensayo Longotoma (2), correspondiendo el mayor valor, al igual que en los dos ensayos restantes, a la procedencia S. Lake Albacutya. Por su parte, y manteniendo la tendencia de los otros ensayos, el testigo nacional presentó una de las alturas menores, superando sólo a la procedencia Umberumberka Creek, que es la que exhibe el menor crecimiento en el ensayo.

Cuadro N° 3.

**SOBREVIVENCIA (%), ALTURA (m) Y DIAMETRO A LA ALTURA DEL CUELLO (cm) A LOS 44 MESES DE EDAD DE *Eucalyptus camaldulensis*, ENSAYO DE MEL-MEI, V REGION.**

PRO- CE- DEN- CIA	LUGAR DE ORIGEN	SOBRE VIVEN CIA (%)	ALT (m)	ALT SCHEFF <sup>(1)</sup>	DAC (cm)	DAC SCHEFF <sup>(1)</sup>
5	S. Lake Albacutya	VIC	80,6	4,12	6,74	
3	Lake Hindmarsh	VIC	80,4	4,06	6,67	
8	Outlet Creek-Rainbow	VIC	80,3	3,95	6,60	
4	Lowan Valley-Saline	VIC	88,1	3,95	6,47	
6	E. Lake Albacutya	VIC	85,4	3,82	6,58	
7	N. Lake Albacutya	VIC	83,9	3,64	6,22	
1	Wimmera R/Elmhurst	VIC	83,2	3,47	6,28	
17	Eureka Creek-Petford	QLD	82,5	3,38	5,58	
2	Wimmera R/Glenorch	VIC	85,7	3,38	6,53	
24	Chinamans-Petford	QLD	93,8	3,33	5,14	
15	Emu Creek-Petyford	QLD	86,7	3,31	5,01	
22	Pinnacle Creek-Petf	QLD	76,9	3,24	5,14	
16	Avon River-Navarre	VIC	77,5	3,20	6,38	
19	Eccles Creek-Petford	QLD	87,5	3,19	5,19	
14	Mishap Creek-Petford	QLD	83,4	3,19	5,25	
9	Emu Creek-Petford	QLD	84,3	3,19	5,03	
20	Emi Gibbs-Petford	QLD	91,9	3,18	4,92	
18	Wales Siding-Petford	QLD	81,3	3,11	5,20	
21	Katherine	NT	89,5	3,04	5,12	
12	Gibbs Petford	QLD	84,4	3,03	5,20	
13	Katherine	NT	79,4	2,74	4,79	
11	Port Lincoln	SA	87,5	2,62	6,17	
25	Testigo Hierro Viejo	CHILE	62,5	2,47	5,48	
10	Umberumberka Creek	NSW	76,4	2,30	4,65	
	PROMEDIO		83,3	3,38	5,81	

(1): Diferencias estadística entre procedencias según prueba de Scheffe ( $p \leq 0,0001$ ).

Los DAC promedios fluctuaron desde 6,74 cm (S. Lake Albacutya-VIC) a sólo 4,65 cm (Umberumberka Creek-NSW), equivalente a un 45% de diferencia entre ambas procedencias. Las diferencias significativas entre procedencias indican que las mejores fueron todas originarias de VIC. Umberumberka Creek fue la de menor DAC en este ensayo.

En el análisis familiar se determinaron las mejores 30 familias según D<sup>2</sup>H, corrigiendo esta información por bloque y procedencia (Cuadro N° 4). La familia que presentó significativamente mejores crecimientos proviene de Queensland y corresponde a Wales Siding-Petford (167), seguida de la familia 50 del Sur de Lake Albacutya (VIC). Este mayor crecimiento está determinado principalmente por la altura, ya que los diámetros de las mejores familias fueron semejantes.

Cuadro N° 4.

ORDENAMIENTO DE LAS 30 MEJORES FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H AJUSTADO POR BLOQUE Y PROCEDENCIA PARA EL ENSAYO DE MEL-MEL.

ORD	PROCEDENCIA	UBIC.	FAMIL. N°	ALTURA (m)	DAC (cm)	D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )
1	Wales Siding-Petford	QLD	167	4,19	6,68	0,0210
2	S. Lake Albacutya	VIC	50	3,71	6,61	0,0189
3	Lake Hindmarsh	VIC	26	3,72	6,33	0,0187
4	Port Lincoln	SA	112	3,91	6,56	0,0179
5	Mishap Creek-Petford	QLD	156	3,62	6,33	0,0177
6	Avon River-Navarre	VIC	91	3,40	6,46	0,0166
7	E. Lake Albacutya	VIC	60	3,79	6,05	0,0166
8	Lowan Valley-Saline	VIC	81	3,94	5,99	0,0164
9	Outlet Creek Rainbow	VIC	33	3,67	6,16	0,0160
10	S. Lake Albacutya	VIC	46	3,92	6,08	0,0159
11	Outlet Valley-Saline	VIC	36	3,69	5,78	0,0158
12	Lake Hindmarsh	VIC	29	3,12	5,48	0,0158
13	S. Lake Albacutya	VIC	51	3,56	6,20	0,0156
14	N. Lake Albacutya	VIC	67	3,60	6,28	0,0155
15	N. Lake Albacutya	VIC	68	3,48	6,15	0,0155
16	Wimmera R/Elmhurst	VIC	3	3,47	6,25	0,0154
17	Wales Siding-Petford	QLD	168	3,65	6,36	0,0154
18	Umberumberka Creek	NSW	101	3,29	6,42	0,0150
19	E. Lake Albacutya	VIC	58	3,41	6,10	0,0148
20	E. Lake Albacutya	VIC	62	3,54	6,00	0,0147
21	Katherine	NT	124	3,59	6,10	0,0147
22	Mishap Creek-Petford	QLD	154	3,45	5,64	0,0146
23	E. Lake Albacutya	VIC	61	3,61	5,93	0,0145
24	Wimmera R/Glenorch	VIC	17	3,08	6,26	0,0145
25	Emu Creek Petford	QLD	178	3,61	6,09	0,0144
26	Avon River-Navarre	VIC	96	3,49	5,88	0,0143
27	Katherine	NT	132	3,47	6,04	0,0142
28	Avon River-Navarre	VIC	95	3,25	6,20	0,0141
29	Lake Hindmarsh	VIC	24	3,30	5,82	0,0140
30	Emu Gibbs-Petford	QLD	181	3,39	6,00	0,0139
	PROMEDIO			3,58	6,17	0,0157

Estas mejores 30 familias son superiores en promedio de altura y diámetro en 5.9 y 19.1%, respectivamente, al promedio del ensayo. Por otra parte, entre las 30 familias superiores están representadas procedencias de todos los orígenes, VIC, QLD, NT y NSW, siendo las familias provenientes de Lake Albacutya las más frecuentes.

La diferencia que existe entre las 10 familias de mejor y peor crecimiento se entrega en la Figura N° 1, siendo significativas las diferencias entre familias para el D<sup>2</sup>H ( $p \leq 0,0003$ ). La superioridad de la familia de mayor crecimiento (167) respecto a la familia de menor crecimiento (111) es de un 286,8%. Importante es destacar que familias procedentes de Lake Albacuyta presentan muy buenos (34, 60, 46) y también muy malos crecimientos (49, 77, 57).

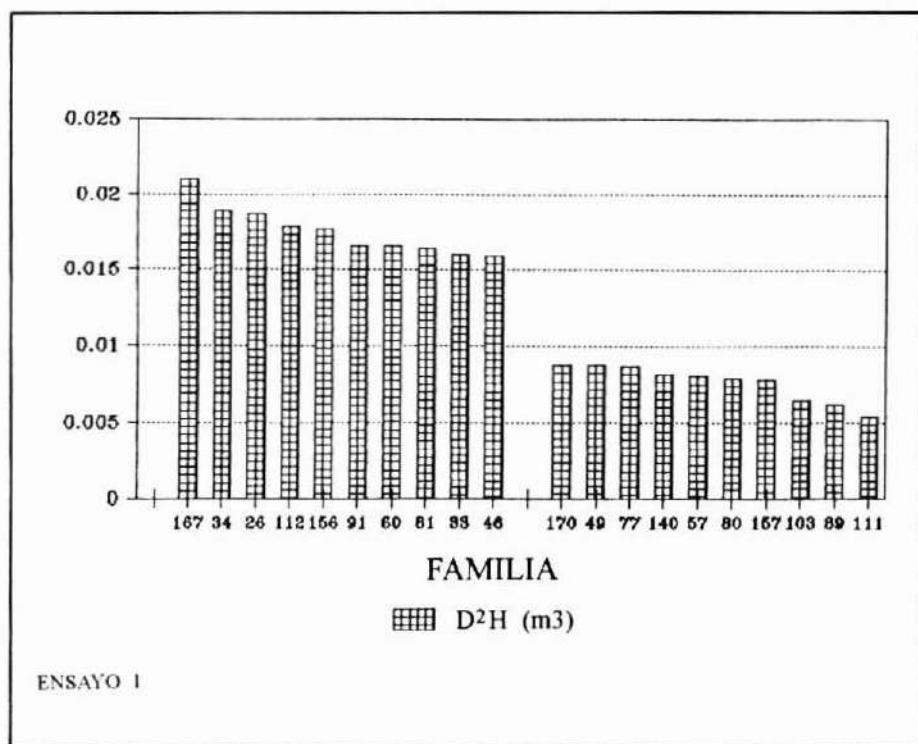


Figura N° 1. *E. Calmaldulensis* - MEL-MEL MEJORES Y PEORES 10 FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H

- Ensayo 2 (Longotoma)

Después de 43 meses, los resultados del ensayo Longotoma (V Región) indican que la ALT promedio fue de  $3,28 \pm 1,11$  m, el DAC  $5,24 \pm 2,00$  cm y la SOB de 93,2% (Cuadro N° 5), determinándose diferencias significativas entre las procedencias para ALT y DAC ( $p \leq 0,0001$ ). Entre las procedencias también se evaluó el comportamiento de un origen nacional (Hierro Viejo, V Región).

La sobrevivencia obtenida en Longotoma por las procedencias australianas fluctuó entre 97,8% (Lowan Valley-Saline, VIC) y 85,8% (Emu Creek-Petford, QLD). Sin embargo, la procedencia nacional sólo alcanzó un 65%, siendo levemente superior a la alcanzada en el ensayo de Mel-Mel (1).

Cuadro N° 5.

**SOBREVIVENCIA, ALTURA (ALT) Y DIÁMETRO A LA ALTURA DEL CUELLO (DAC) A LOS 44 MESES DE EDAD DE *Eucalyptus camaldulensis*, ENSAYO DE LONGOTOMA, V REGIÓN (ORDENADAS SEGÚN ALTURA).**

PROCED	LUGAR DE ORIGEN		SOBREVIV (%)	ALT (m)	ALT SCHEP <sup>(1)</sup>	DAC (cm)	DAC SCHEP <sup>(1)</sup>
5	S Lake Albacutya	VIC	96,8	4,05		6,19	
3	Lake Hindmarsh	VIC	93,1	3,85		6,04	
4	Outlet Creek Rainbow	VIC	96,5	3,61		5,46	
19	Emu Creek-Petford	QLD	91,0	3,51		5,45	
6	E Lake Albacutya	VIC	93,0	3,44		5,53	
21	Gibbs-Petford	QLD	93,5	3,39		5,34	
20	Emu Gibbs-Petford	QLD	95,6	3,38		4,95	
18	Wales Siding-Petford	QLD	95,4	3,37		5,18	
8	N Lake Albacutya	VIC	89,0	3,36		5,58	
7	Lowan Valley-Saline	VIC	97,8	3,35		5,49	
24	Emu Creek-Petford	QLD	85,8	3,28		4,79	
17	Eureka Creek-Petford	QLD	93,5	3,27		4,76	
22	Chusmans-Petford	QLD	88,5	3,27		4,75	
12	Katherine	NT	94,8	3,25		5,12	
14	Eccles Creek-Petford	QLD	91,1	3,23		4,59	
15	Pinnacle Creek-Petf	QLD	97,0	3,21		4,79	
1	Wimmera R/Eimhurst	VIC	92,5	3,16		5,57	
2	Wimmera R/Glenochu	QLD	94,8	3,08		5,67	
16	Mishap Creek-Petford	QLD	89,4	2,96		4,05	
13	Katherner	NT	92,5	2,80		4,61	
9	Avon River-Navarre	VIC	88,1	2,70		5,11	
25	Hierro Viejo V Rog	CHILE	65,0	2,61		4,63	
11	Port Lincoln	SA	92,5	2,41		5,34	
10	Umberumberka Creek	WNS	94,4	2,34		4,07	
	PROMEDIO		93,2	3,28		5,24	

(1): Diferencias estadísticamente significativas según prueba de Scheffe ( $p \leq 0,0001$ ).

Una ordenación descendente de las 30 mejores familias según su valor para la variable D<sup>2</sup>H (Cuadro N° 6) deja en evidencia la gran representación en este grupo de las progenies provenientes del estado de Victoria. Por otra parte, y como guía para la selección, estas familias representan en promedio un 6,4% y 10,31% de incremento en altura y diámetro, respectivamente, en relación a los valores promedios del ensayo completo.

La variación en crecimiento entre las progenies es considerable, como se puede apreciar en la Figura N° 2. De igual forma, la variación entre progenies dentro de las procedencias también es importante, existiendo procedencias como Avon River Navarre (VIC) que presenta progenies ubicadas entre las de mejor crecimiento (familia 97) y a su vez a la familia de menor crecimiento en todo el ensayo (familia 89).



Cuadro N° 6.

ORDENAMIENTO DE LAS 30 MEJORES FAMILIAS SEGÚN D<sup>PH</sup> AJUSTADO POR BLOQUE Y  
 PROCEDENCIA PARA EL ENSAYO DE LONGOTOMA.

ORD	PROCEDENCIA	UBIC.	FAMIL. N°	ALT (m)	DAC (cm)	D <sup>PH</sup> (m <sup>3</sup> )
1	Outlet Creek-Rainbow	VIC	33	3,75	6,29	0,0229
2	Wimmera R/Elmhurst	VIC	3	3,57	6,71	0,0193
3	Lowan Valley-Saline	VIC	79	3,61	6,18	0,0186
4	Wimmera R/Elmhurst	VIC	5	3,65	6,55	0,0178
5	Avon River-Navarre	VIC	97	3,50	5,95	0,0173
6	Lake Hindmarsh	VIC	30	3,47	5,35	0,0169
7	E. Lake Albacutya	VIC	62	3,81	5,97	0,0168
8	Lowan Valley-Saline	VIC	86	3,44	5,76	0,0167
9	E. Lake Albacutya	VIC	59	3,78	6,00	0,0165
10	Wimmera R/Elmhurst	VIC	2	3,30	6,31	0,0164
11	Wimmera R/Elmhurst	VIC	4	3,21	6,54	0,0162
12	Emu Creek-Petford	QLD	177	3,26	4,48	0,0156
13	Avon River-Navarre	VIC	95	3,61	5,53	0,0155
14	Lake Hindmarsh	VIC	26	3,29	5,60	0,0153
15	Pinnacle Creek-Petf	QLD	152	3,46	5,54	0,0152
16	Eccles Creek-Petford	QLD	143	3,42	5,77	0,0151
17	S. Lake Albacutya	VIC	45	3,47	5,78	0,0150
18	Lake Hindmarsh	VIC	25	3,43	6,00	0,0150
19	N. Lake Albacutya	VIC	73	3,56	5,78	0,0145
20	Wimmera R/Glenorchi	VIC	16	3,73	5,79	0,0145
21	Wimmera R/Glenorchi	VIC	14	3,46	5,70	0,0145
22	Lowan Valley-Saline	VIC	81	3,41	5,83	0,0144
23	Avon River-Navarre	VIC	91	3,70	5,46	0,0143
24	S. Lake Albacutya	VIC	51	3,28	5,58	0,0142
25	Outlet Creek-Rainbow	VIC	38	3,40	5,52	0,0142
26	Katherine	NT	124	3,41	5,22	0,0139
27	E. Lake Albacutya	VIC	65	3,37	5,74	0,0138
28	Chinamans-Petford	QLD	192	3,46	5,26	0,0138
29	Wimmera R/Glenorchi	VIC	10	3,41	5,37	0,0138
30	Lake Hindmarsh	VIC	27	3,54	5,75	0,0138
	PROMEDIO			3,49	5,78	0,0157

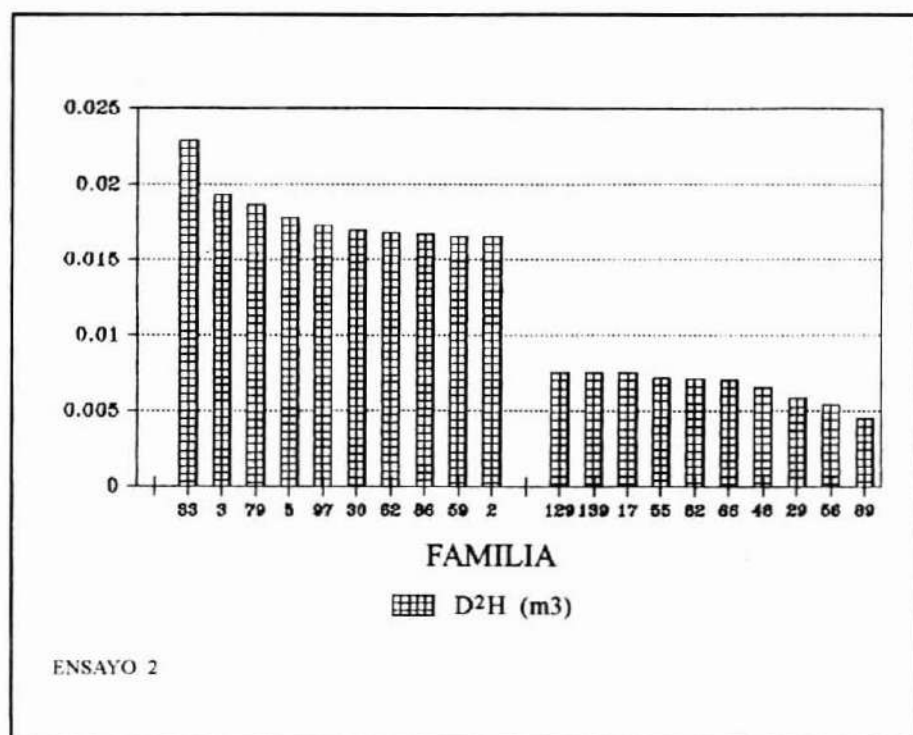


Figura N° 2. *E. Calmaldulensis* - LONGOTOMA MEJORES Y PEORES 10 FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H

- Ensayo 3 (Tantehue)

En este ensayo se compararon sólo procedencias de Victoria con un testigo nacional, a base de la información de una evaluación a los 42 meses de edad. Los valores medios registrados para las variables en estudios (Cuadro N° 7) son: Altura  $6,59 \pm 1,76$  m; DAP  $6,41 \pm 2,0$  cm; D<sup>2</sup>H de  $0,033 \pm 0,03$  m<sup>3</sup> y SOB de 96,9%. Estos valores, que fueron obtenidos considerando todos los bloques, son los mayores de entre los cuatro ensayos considerados en el análisis, lo que obedece a las mejores condiciones de sitio imperantes en el lugar y a que el año de establecimiento fue benigno en materia de lluvias, situación que no se observó en los ensayos de Mel-Mel (1) y Longotoma (2) que debieron soportar un año de sequía.

Cuadro N° 7.

SOBREVIVENCIA (%), ALTURA (m) Y DIAMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (cm) A LOS 42 MESES DE EDAD DE *Eucalyptus camaldulensis*, ENSAYO DE TANTEHUE, V REGION (ordenados según D<sup>2</sup>H).

PRO- DEN- CIA	LUGAR DE ORIGEN		SOBRE- VIVEN- CIA (%)	ALT (m)	DAP (cm)	D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )	D <sup>2</sup> H SCHEFF <sup>(1)</sup>
5	S. Lake Albacutya	VIC	98,6	7.12	6.79	0,0401	
3	Lake Hindmarsh	VIC	96,5	6.81	6.76	0,0390	
8	Lowan Valley-Saline	VIC	91,9	6.72	6.72	0,0386	
6	E. Lake Albacutya	VIC	95,3	6.70	6.74	0,0373	
7	N. Lake Albacutya	VIC	97,7	6.82	6.64	0,0356	
1	Wimmera R/Elmhurst	VIC	96,5	6.38	6.26	0,0322	
4	Outlet Creek-Rainbow	VIC	99,0	6.60	6.07	0,0286	
2	Wimmera R/Glenorchi	VIC	95,0	6.25	6.10	0,0282	
9	Avon River-Navarre	VIC	95,8	6,06	6,10	0,0281	
25	Testigo Lolol	CHILE	100,0	5,36	4,66	0,0148	
	PROMEDIO		96,9	6,59	6,41	0,0334	

<sup>(1)</sup> : Diferencias estadísticamente significativas según prueba de Scheffe ( $p \leq 0,0001$ ).

La mayor sobrevivencia la expresa el testigo nacional (100%), pero no se diferencia mayormente de la SOB promedio del ensayo, la que es en general alta (96,9%). La menor SOB corresponde a la procedencia Lowan Valley Saline (91,9%)

La altura promedio del ensayo alcanzó los 6,59 metros, variando entre 7,12 m (S. Lake Albacutya) y 5,36 m (testigo nacional). Se manifiesta una clara inferioridad de las plantas de semilla local, las cuales exhiben entre un 24,7 y 11,5% menos de altura que la mejor y peor procedencia australiana, respectivamente.

Las procedencias mostraron diferencias significativas también en el DAP ( $p \leq 0,0001$ ), las cuales variaron desde 6,79 a 4,66 cm, para las procedencias originarias de VIC: S. Lake Albacutya y Avon River-Navarre, respectivamente (Cuadro N° 7). En general las procedencias de mayor DAP fueron las de mayores alturas. Nuevamente el testigo nacional demuestra el menor DAP (4,66 cm), nivel bastante inferior al promedio del ensayo.

Finalmente en el ensayo de Tantehue (3), las procedencias con mayores D<sup>2</sup>H promedios son: Sur Lake Albacutya, Lake Hindmarsh y de N. Lake Albacutya, siendo la testigo nacional muy diferente al resto de las procedencias. El D<sup>2</sup>H de la procedencia nacional muestra el menor crecimiento y difiere significativamente de todas las procedencias australianas ( $p \leq 0,0001$ ), siendo incluso un 36,8% inferior a la mejor procedencia del Sur de Lake Albacutya (Victoria).

El ordenamiento de las mejores 30 familias por D<sup>2</sup>H, corregidos los efectos significativos de bloque y procedencia, según los promedios de mínimos cuadrados por familia, se entregan en el Cuadro 8. Se encontraron diferencias significativas entre familias ( $p \leq 0,0001$ ) para las tres características analizadas (ALT, DAP y D<sup>2</sup>H), situación muy importante de considerar al momento de realizar selección familiar, destacando la mayor importancia de obtener las mejores familias mediante un índice de selección que incluya todas estas características.

La superioridad promedio de estas 30 mejores familias corresponde a un 9,2% comparado con el promedio de todo el ensayo (0,0031 m<sup>3</sup>), diferencia importante para estimar el progreso genético a conseguir por selección familiar (Cuadro N° 8). La familia nacional alcanza un D<sup>2</sup>H de 0,029 m<sup>3</sup> ocupando el lugar 46 de las 83 familias evaluadas en este ensayo, es decir, es inferior en 39,7% comparado con la mejor familia (E. Lake Albacutya).

El rango que existe entre las 10 familias de mejor y peor crecimiento se entrega en la Figura N° 3. Estas diferencias significativas entre familias ( $p \leq 0,0001$ ) fluctúan entre 0,048 y 0,011 m<sup>3</sup>, lo que significa una superioridad sobre el 336% de la mejor familia a la de menor crecimiento. Nuevamente, se observa una amplia variabilidad de las familias dentro de las procedencias, existiendo algunas procedencias que cuentan con familias tanto en el grupo de las 10 con mejor D<sup>2</sup>H, como en el grupo de los 10 D<sup>2</sup>H más bajos.

Cuadro N° 8.

ORDENAMIENTO DE LAS 30 MEJORES FAMILIAS SEGÚN D<sup>PH</sup> AJUSTADO POR BLOQUE Y  
 PROCEDENCIA PARA EL ENSAYO DE TANTEHUE.

ORD	PROCEDENCIA	UBIC.	FAMIL. N°	ALT (m)	DAP (cm)	D <sup>PH</sup> (m <sup>2</sup> )
1	E. Lake Albacutya	VIC	59	7,00	7,90	0,0480
2	Wimmera R/Elmhurst	VIC	3	7,25	7,36	0,0449
3	Lake Hindmarsh	VIC	22	7,08	7,32	0,0429
4	N. Lake Albacutya	VIC	67	7,16	7,22	0,0403
5	S. Lake Albacutya	VIC	46	7,17	6,98	0,0403
6	Outlet Creek Rainbow	VIC	33	6,60	7,19	0,0383
7	Wimmera R/Glenorchi	VIC	13	7,08	6,80	0,0380
8	Avon River-Navarre	VIC	95	6,90	6,98	0,0377
9	Avon River-Navarre	VIC	92	7,19	6,85	0,0376
10	N. Lake Albacutya	VIC	69	7,02	7,03	0,0374
11	Lowan Valley-Saline	VIC	87	6,85	6,53	0,0372
12	S. Lake Albacutya	VIC	44	7,08	6,84	0,0371
13	S. Lake Albacutya	VIC	45	6,87	7,07	0,0370
14	Outlet Creek Rainbow	VIC	42	7,00	6,88	0,0362
15	Lowan Valley-Saline	VIC	85	6,95	6,56	0,0354
16	Lake Hindmarsh	VIC	26	7,09	6,68	0,0350
17	Wimmera R/Glenorchi	VIC	12	6,94	6,66	0,0349
18	Avon River-Navarre	VIC	93	6,90	6,64	0,0348
19	Lowan Valley-Saline	VIC	88	6,59	6,69	0,0346
20	N. Lake Albacutya	VIC	73	6,89	6,58	0,0346
21	Wimmera R/Elmhurst	VIC	4	7,02	6,57	0,0341
22	E. Lake Albacutya	VIC	65	6,95	6,77	0,0340
23	N. Lake Albacutya	VIC	70	7,04	6,57	0,0338
24	Avon River-Navarre	VIC	97	6,55	6,68	0,0333
25	Wimmera R/Glenorchi	VIC	19	6,49	6,73	0,0332
26	Wimmera R/Glenorchi	VIC	15	6,60	6,62	0,0331
27	Lake Hindmarsh	VIC	23	6,73	6,42	0,0331
28	S. Lake Albacutya	VIC	53	6,38	6,86	0,0329
29	Lowan Valley-Saline	VIC	81	7,12	6,35	0,0328
30	E. Lake Albacutya	VIC	60	7,14	6,35	0,0327
	PROMEDIO			6,92	6,82	0,0365

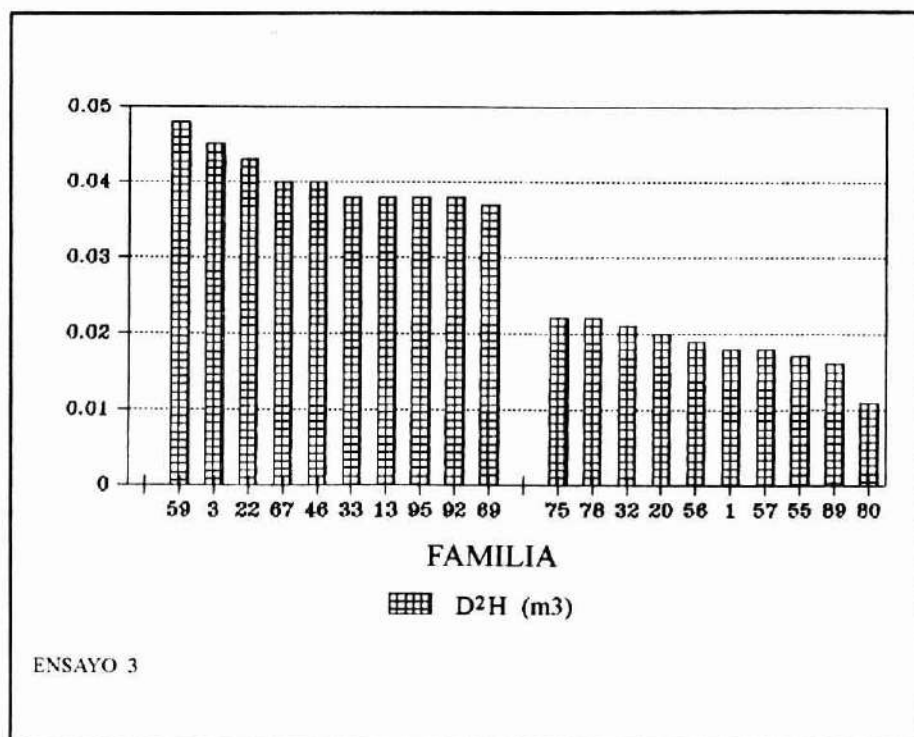


Figura N° 3. *E. Calmaldulensis* - TANTEHUE MEJORES Y PEORES 10 FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H

- Ensayo 4 (La Paila)

Al igual que el de Tantehue, este ensayo considera sólo procedencias y progenies provenientes del estado de Victoria y la información que se entrega corresponde a una medición realizada a los 42 meses de edad. Los valores promedios y sus respectivas desviaciones para las variables en estudio fueron: ALT =  $2,57 \pm 0,73$  m; DAP =  $2,48 \pm 1,07$  cm. D<sup>2</sup>H =  $0,0022 \pm 0,0027$  m<sup>3</sup> y SOB igual a 78,1% (Cuadro N° 9).

La sobrevivencia y desarrollo observados en este ensayo son los menores de los cuatro considerados en el análisis. Este comportamiento se puede explicar fundamentalmente por variación atribuible al ambiente, pues las familias evaluadas son casi las mismas contempladas en el ensayo Tantehue, sitio más favorable donde exhiben un desarrollo notablemente superior.

Se observa que el testigo nacional presenta una de las menores sobrevivencias, superando sólo a una procedencia australiana (Avon River Navarre), y acusando nuevamente el menor crecimiento para el testigo.

Se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las variables altura y diámetro entre las procedencias ensayadas ( $p \leq 0,0001$ ). En el caso de la altura la diferencia entre los promedios de la mejor y peor procedencia (Lake Hindmarsh y testigo nacional, respectivamente) equivale a un 39,1%. En el caso del diámetro, esta diferencia equivale al 55,5%.

Cuadro Nº 9.

SOBREVIVENCIA (%), ALTURA (m) Y DIAMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (cm) A LOS 42 MESES DE EDAD DE *Eucalyptus camaldulensis*, ENSAYO DE LA PAILA, VI REGION (ordenados según D<sup>2</sup>H).

PRO	LUGAR DE ORIGEN		SOBR. (%)	ALT (m)	DAP (cm)	D <sup>2</sup> H (m <sup>2</sup> )	D <sup>2</sup> H SCHEFF <sup>(1)</sup>
6	E. Lake Albacutya	VIC	70,4	2.58	2.60	0,002797	
3	Lake Hindmarsh	VJC	79,5	2.74	2.66	0,002760	
7	N. Lake Albacutya	VIC	82,0	2.67	2.66	0,002552	
1	Wimmera R/Elmhurst	VIC	76,1	2.57	2.58	0,002409	
8	Lowan Valley-Saline	VIC	73,8	2.69	2.58	0,002311	
5	S. Lake Albacutya	VJC	76,9	2.72	2.54	0,002243	
4	Outlet Creek-Rainbow	VIC	76,1	2.48	2.26	0,001810	
2	Wimmera R/Glenorchi	VIC	76,7	2.33	2.28	0,001710	
9	Avon River-Navarre	VIC	66,0	2.24	2.21	0,001322	
27	Testigo Lolol	CHILE	70,0	1.97	1.71	0,000687	
	PROMEDIO		78,1	2.57	2.48	0,002235	

(1): Diferencias estadística entre procedencias según prueba de Scheffe ( $p \leq 0,0001$ )

El comportamiento familiar en el ensayo La Paila se resume en el Cuadro Nº 10, donde se ordenaron las mejores 30 familias según D<sup>2</sup>H, corregido por bloque y procedencia. Es importante destacar que las mejores familias procedentes de VIC son: Lake Albacutya y Lake Hindmarsh. En general estas 30 familias son un 4,3; 7,5 y 15,7% superiores al promedio del ensayo en ALT, DAP y D<sup>2</sup>H, respectivamente. Se determinaron diferencias significativas entre familias sólo para ALT ( $p \leq 0,001$ ) y no así en DAP y D<sup>2</sup>H.

Cuadro Nº 10.

ORDENAMIENTO DE LAS 30 MEJORES FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H AJUSTADO POR BLOQUE Y PROCEDENCIA PARA EL ENSAYO DE LA PAILA.

ORD	PROCEDENCIA	UBIC.	FAMIL. Nº	ALTURA (m)	DAP (cm)	D <sup>2</sup> H (m <sup>3</sup> )
1	E. Lake Albacutya	VIC	60	2,93	2,98	0,0037
2	Lake Hindmarsh	VIC	26	2,64	2,81	0,0036
3	E. Lake Albacutya	VIC	58	2,75	2,93	0,0034
4	E. Lake Albacutya	VIC	61	2,97	2,87	0,0034
5	N. Lake Albacutya	VIC	69	2,88	2,99	0,0033
6	Outlet Creek Rainbow	VIC	33	2,71	2,82	0,0032
7	Lake Hindmarsh	VIC	24	2,76	2,78	0,0030
8	Wimmera R/Glenorch	VIC	10	2,67	2,77	0,0030
9	Lake Hindmarsh	VIC	23	2,90	2,81	0,0029
10	Wimmera R/Glenorch	VIC	13	2,87	2,83	0,0029
11	Wimmera R/Glenorch	VIC	11	2,82	2,66	0,0029
12	Wimmera R/Elmhurst	VIC	7	2,54	2,69	0,0025
13	S. Lake Albacutya	VIC	49	2,56	2,76	0,0025
14	Outlet Creek Rainbow	VIC	40	2,64	2,68	0,0025
15	Wimmera R/Elmhurst	VIC	4	2,84	2,83	0,0025
16	N. Lake Albacutya	VIC	73	2,72	2,65	0,0025
17	N. Lake Albacutya	VIC	68	2,58	2,64	0,0025
18	Wimmera R/Elmhurst	VIC	5	2,67	2,65	0,0025
19	Outlet Creek Rainbow	VIC	39	2,60	2,61	0,0025
20	S. Lake Albacutya	VIC	53	2,68	2,65	0,0024
21	Lowan Valley-Saline	VIC	81	2,70	2,56	0,0023
22	Wimmera R/Elmhurst	VIC	1	2,45	2,48	0,0023
23	Wimmera R/Glenorch	VIC	19	2,46	2,78	0,0023
24	N. Lake Albacutya	VIC	70	2,54	2,57	0,0023
25	E. Lake Albacutya	VIC	62	2,52	2,27	0,0022
26	Outlet Creek Rainbow	VIC	38	2,64	2,53	0,0022
27	Lake Hindmarsh	VIC	22	2,61	2,36	0,0020
28	S. Lake Albacutya	VIC	51	2,64	2,55	0,0020
29	S. Lake Albacutya	VIC	54	2,45	2,57	0,0020
30	Wimmera R/Elmhurst	VIC	6	2,54	2,27	0,0020
	PROMEDIO			2,68	2,68	0,0027

El rango que existe entre las 10 familias de mejor y peor crecimiento se entrega en la Figura Nº 4. No se presentaron diferencias significativas entre familias ( $p > 0,05$ ) fluctuando los D<sup>2</sup>H entre 0,037 y 0,009 m<sup>3</sup>, lo que significa una superioridad sobre el 268% de la mejor familia respecto de la familia con menor crecimiento. También se observa que las mismas procedencias poseen familias entre los mayores y menores crecimientos, por ejemplo: entre las 10 familias de mayor crecimiento existen 4 familias de Lake Albacutya (60, 58, 61, 69), en cambio 6 (55, 66, 63, 47, 78, 56) de las 10 peores familias son de la misma procedencia. Sin embargo, el comportamiento de las familias procedentes de Lake Hindmarsh en este ensayo determinan 3 familias entre las 10 mejores (26, 24, 23) y el resto de las 10 familias a probar, se mantienen alrededor del promedio para D<sup>2</sup>H.



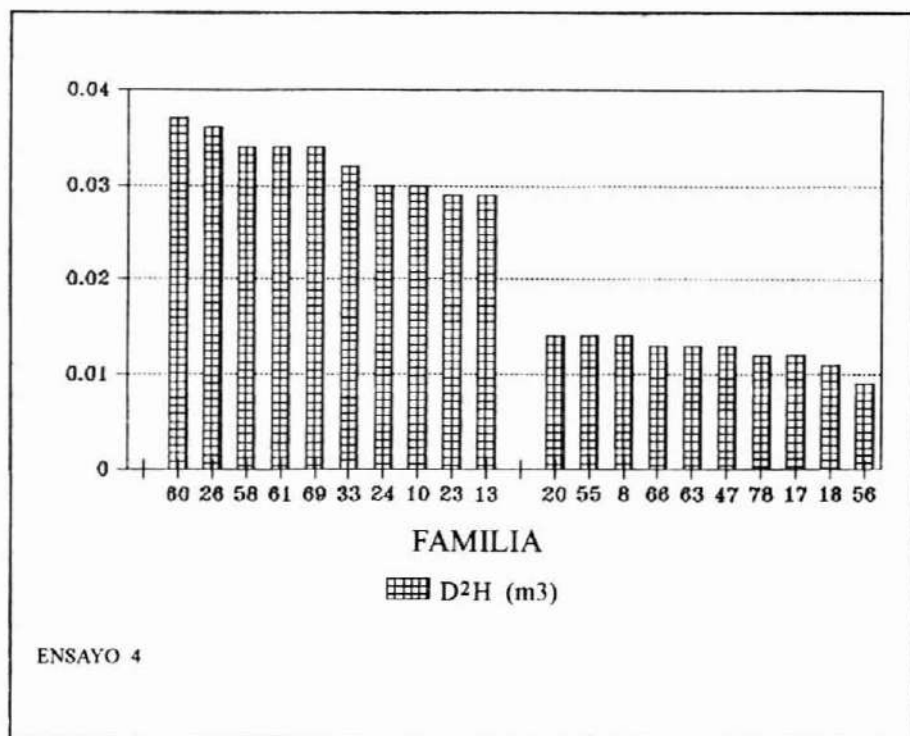


Figura N° 4. *E. Camaldulensis* - LA PAILA MEJORES Y PEORES 10 FAMILIAS SEGÚN D<sup>2</sup>H

Antecedentes en la literatura muestran que el *E. camaldulensis* en condiciones de suelo y clima más favorables alcanzan niveles de crecimiento y adaptabilidad bastante superiores, a la misma edad, a los obtenidos en estos ensayos, así por ejemplo, en una evaluación de ensayos de procedencias en dos comunas de Karnataka (Kalanakatte y Devbal) realizada por Chandra et al. (1994), en la India, donde sólo 2 procedencias fueron semejante a los ensayos nacionales: Emu Creek Petford (QLD) y Katherine (NT), las cuales alcanzan altura a los 4 años de 8.7 y 8.2 m en Kalanakatte y de 6.2 y 5,6 m en Devbal, respectivamente.

### Parámetros Genéticos.

Los parámetros genéticos estimados en las poblaciones de *E. camaldulensis* dentro de cada ensayo son: heredabilidad individual ( $h^2$ ) y correlación genética. Además se entregan las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas.

En el Cuadro N° 12 se entregan las heredabilidades individuales y sus errores estandar para las variables ALT, DAC, DAP y D<sup>2</sup>H, por ensayo (Becker, 1984). La heredabilidad promedio ponderada y sus errores estandares se calcularon según el método de Cunningham et al. (1977).

Las heredabilidades calculadas en general son bajas, determinando un promedio entre los 4 ensayos de  $0,19 \pm 0,02$ ;  $0,14 \pm 0,02$  y  $0,12 \pm 0,01$ , para la ALT, DAP (DAC) y D<sup>2</sup>H, respectivamente (Cuadro N° 12). Estimaciones a nivel nacional en *E. globulus ssp. globulus* realizadas por Prado y Alvear (1993), para las mismas características de crecimiento a los 4 años de edad, entregan valores promedios de 3 ensayos de progenie-procedencia parecidos para la ALT ( $0,20 \pm 0,02$ ) y algo superiores para DAP ( $0,21 \pm 0,02$ ) y D<sup>2</sup>H ( $0,15 \pm 0,02$ ). Los mayores valores de  $h^2$  para las tres características evaluadas fueron obtenidos en el ensayo Tantehue, como consecuencia de la menor varianza ambiental determinada por la homogeneidad del sitio, situación que se hace muy evidente al comparar la  $h^2$  del DAP entre ensayos semejantes (Tantehue y La Paila). Sin duda que los bajos valores calculados en este estudio responden a la variabilidad encontrada en algunos de los ensayos.

Sin embargo, sería necesario volver sobre estos cálculos a una edad más avanzada. Por el momento, las heredabilidades calculadas para altura y diámetro, sugieren que ganancias genéticas razonables podrían lograrse mediante selección individual, considerando sólo al ensayo Tantehue (3), que posee heredabilidades muy superiores al resto de los ensayos para las tres características de crecimiento, situación determinada en gran medida por la mejor calidad de sitio que permite una expresión precoz del potencial genético entre los hermanos (familias), potencial que es difícil de manifestar en sitios más pobres. La componente ambiental, en general hasta esta edad, resulta aún muy fuerte y determinante en el crecimiento de los árboles especialmente cuando están sometidos a condiciones de manejo deficientes, como lo ocurrido en los ensayos de Longotoma y La Paila, cuyas estimaciones de  $h^2$  fueron inferiores al resto de los ensayos debido a un aumento relativo de las varianzas bloque e interacción bloque x familia, las que determinan un aumento de la varianza fenotípica.

La correlación genética de cada ensayos y el promedio entre los ensayos se entregan en el Cuadro N°13 y las correlaciones fenotípicas en el Cuadro 14. En general las correlaciones genéticas fueron mayores a las fenotípicas.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas son bastantes altas entre las variables analizadas, lo que implica un alto componente genético responsable de la asociación entre estas características de crecimiento (Cuadros N° 13 y N° 14), así en promedio la correlación genética entre ALT y DAP fue  $0,90 \pm 0,02$ , entre ALT y D<sup>2</sup>H fue  $0,94 \pm 0,01$  y entre DAP y D<sup>2</sup>H fue de  $0,99 \pm 0,01$ . En cambio las correlaciones fenotípicas promedio entre estas mismas características de crecimiento fueron: ALT-DAP = 0,75; ALT-D<sup>2</sup>H = 0,79 y DAP-D<sup>2</sup>H = 0,90.

Cuadro N° 12.

HEREDABILIDAD Y ERROR ESTANDAR DE LOS PARÁMETROS DASOMÉTRICOS EN LOS  
 DIFERENTES ENSAYOS DE *E. camaldulensis*.

ENSAYOS	ALTURA $h^2 \pm se$	DAP* $h^2 \pm se$	D <sup>2</sup> H** $h^2 \pm se$
MEL-MEL (44 meses)	0,18 0,03	0,13 0,03	0,11 0,03
LONGOTOMA (44 meses)	0,18 0,03	0,12 0,03	0,07 0,01
TANTEHUE (42 meses)	0,23 0,05	0,27 0,05	0,17 0,01
LA PAILA (42 meses)	0,19 0,06	0,12 0,04	0,12 0,04
PROMEDIO	0,19 0,02	0,14 0,02	0,12 0,01

\* : DAC en los ensayos 1 y 2.

\*\* : DAC<sup>2</sup>xALT en los ensayos 1 y 2.

Cuadro N° 13.

CORRELACIÓN GENÉTICA Y ERROR ESTANDAR DE LOS PARÁMETROS DASOMÉTRICOS EN  
 LOS DIFERENTES ENSAYOS DE *E. camaldulensis*.

ENSAYOS	ALT-DAP* $r_G \pm se$	ALT-D <sup>2</sup> H $r_G \pm se$	DAP*-D <sup>2</sup> H** $r_G \pm se$
MEL-MEL (44 meses)	0,66 0,08	0,91 0,03	0,91 0,03
LONGOTOMA (44 meses)	0,71 0,07	0,94 0,01	0,97 0,01
TANTEHUE (42 meses)	0,83 0,04	0,91 0,01	0,99 0,01
LA PAILA (42 meses)	0,95 0,02	0,97 0,01	0,99 0,01
PROMEDIO	0,90 0,02	0,94 0,01	0,99 0,01

\* : DAC en los ensayos 1 y 2.

\*\* : DAC<sup>2</sup>xALT en los ensayos 1 y 2.

Cuadro N° 14.

CORRELACIÓN FENOTÍPICA DE LOS PARÁMETROS DASOMÉTRICOS EN LOS DIFERENTES  
 ENSAYOS DE *E. camaldulensis*.

ENSAYOS	ALT-DAP* $r_p$	ALT-D <sup>2</sup> H** $r_p$	DAP*-D <sup>2</sup> H** $r_p$
MEL-MEL (44 meses)	0,66	0,76	0,90
LONGOTOMA (44 meses)	0,83	0,84	0,89
TANTEHUE (42 meses)	0,78	0,84	0,90
LA PAILA (42 meses)	0,74	0,71	0,92
PROMEDIO	0,75	0,79	0,90

\* : DAC en los ensayos 1 y 2.

\*\* : DAC<sup>2</sup>xALT en los ensayos 1 y 2.

La correlación genética y fenotípica estimada entre ALT y DAP presentó una menor relación y con mayor variación en los ensayos con procedencias de diferente origen,

Mel-Mel (1) y Longotoma (2) determinado principalmente por relaciones distintas entre las procedencias de VIC y NSW.

## CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos para el crecimiento son consistentes con evaluaciones efectuadas en los mismos ensayos a la edad de 24 meses (Gutiérrez y Chung, 1993).

En general, a excepción del ensayo La Paila, se observan niveles altos de sobrevivencia. Sin embargo, las mayores mortalidades fueron observadas en los testigos nacionales, salvo en el ensayo Tantehue.

Se aprecia una clara superioridad en el crecimiento manifestado por las procedencias australianas en relación a las nacionales utilizadas como testigos.

Las cifras que se entregan revelan importantes diferencias en el desarrollo de la especie en las distintas localidades donde fue ensayada. Las razones para estas diferencias están dadas tanto por variaciones en las condiciones de clima y suelo, como por variaciones en la topografía y exposición de los ensayos. En el caso del ensayo Tantehue el mayor crecimiento se debe, sin duda, a la calidad del suelo y a la exposición más húmeda al momento del establecimiento; en cambio, en La Paila el menor desarrollo responde a las condiciones climáticas y topografía del suelo imperantes en el área.

A pesar de que es posible identificar procedencias que presentan un buen crecimiento promedio, en la mayoría de los casos la variación que exhiben sus progenies es tan amplia que impide generalizar juicios sobre las procedencias completas. Análogamente, procedencias que en promedio no exhiben crecimientos satisfactorios, presentan progenies que alcanzan valores de gran interés.

Al comparar el desarrollo de los árboles en cada uno de los 4 lugares de ensayo, se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias, cualquiera sea la variable considerada (ALT, DAP o D<sup>2</sup>H). En todos los casos las mejores procedencias corresponden a Lake Albacutya y Lake Hindmarsh de Victoria.

En el caso del ensayo La Paila se producen diferencias significativas en el desarrollo y la sobrevivencia, fundamentalmente debido al sitio de muy baja calidad. Esto deja de manifiesto la diferencia en adaptabilidad de las procedencias de Victoria.

Es categórico el bajo crecimiento de la procedencia Avon River-Navarre de Victoria que en todos los ensayos presentó un crecimiento deficiente, situación no muy evidente a edad más temprana. Por el contrario, la procedencia Umberumberka Creek (NSW) continúa con el menor desarrollo demostrado ya a los dos años de edad (Gutiérrez y Chung, 1993)

En general, las progenies que exhiben los mejores crecimientos corresponden a las procedencias de los lagos Hindmarsh y Albacutya. Una situación similar se observa en las progenies de la procedencia Outlet Creek Rainbow

Los parámetros genéticos calculados, indican que podría esperarse una moderada ganancia a partir de la selección de árboles individuales, dentro de las mejores familias. Por lo tanto, a esta edad el método de mejoramiento genético más indicado sería en base a selección familiar incluyendo varias características en un índice de selección.

La base de un proyecto de mejoramiento genético de mediano plazo deberá estar constituida, principalmente, por familias procedentes de Victoria. Sin embargo, no debe descartarse el aporte de características positivas, ya sea en la forma, calidad de la madera o resistencia a plagas y enfermedades de las otras procedencias.

## REFERENCIAS.

- Barros, S., 1990. Ensayos de Procedencias de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn en la Zona Semiárida de Chile. Ciencia e Investigación Forestal, 4(2): 171-182.
- Becker, W.A., 1984. Manual of Quantitative Genetics. Academic Enterprises. Pullman. USA. 186 p.
- Chandra, B. K. J.; Kariyappa, G.S. and Manjunath, B.E., 1994. Evaluation of *Eucalyptus camaldulensis* Provenance Trials in Karnataka. Indian Forester, 120 (8): 670 - 676.
- Cunningham, E.P, T. O'Byrne and A. A. Mescal., 1977. Genetic Relationship between Beef and Dairy Traits in Friesian cattle. Irish J. Agric. Res., 16: 243-249.
- Gutiérrez, B. y Chung, P., 1993. Crecimiento Inicial de 23 Procedencias y 196 Familias de *Eucalyptus camaldulensis* Denh en Cuatro Sitios de la Zona Central de Chile. Ciencia e Investigación Forestal, 7(1): 5-21.
- Infante, P. y Prado, J., 1989. Crecimiento de 35 Procedencias de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en Etapa de Vivero. Ciencia e Investigación Forestal, 2(7): 83 - 92.
- Infante, P. y Prado, J., 1991. Crecimiento Juvenil de 32 Procedencias y 203 Familias de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en la Zona Costera de la VIII Región de Chile. Ciencia e Investigación Forestal, 5(2): 251 - 265.
- INFOR., 1986. Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Santiago, Chile. Gerencia de Desarrollo, CORFO AF 86/32. 167 p.
- Prado, J.A. y Alvear, C., 1993. Resultados de Ensayos de Procedencias y Progenies de *Eucalyptus globulus* en la Zona Centro-Sur de Chile. Actas: Simposio: Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile. Pucón-Chile 24 - 26 Noviembre, 61 - 80.
- Whitemann, P.H.; Dean, C.A.; Doran, J.C. and Cameron, J.N., 1992. Genetic Parameters and Selection Strategies for *Eucalyptus nitens* (Dean and Maiden) in Victoria. Silvae Genetica, 41: 77 - 81.

# ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CIPRÉS (*Cupressus lusitanica*) EN RELACIÓN AL FUSTE<sup>(\*)</sup>

SANDRA RODRÍGUEZ S.<sup>(\*\*)</sup> y MARCO TORRES U.<sup>(\*\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Proyecto F-90 financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Austral de Chile

<sup>(\*\*)</sup> Ingeniero Civil Químico

<sup>(\*\*\*)</sup> Técnico en celulosa y papel.

Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo fue estudiar la variación de la composición química de la madera de Cupressus lusitanica en función de su posición en la dirección radial y apical en el fuste.*

*Se recolectaron 10 árboles de 2 parcelas, de las que se obtuvieron rodelas en las zonas basal, media y apical. De ellas se extrajeron muestras cada 6 anillos, desde la médula hacia la corteza.*

*El contenido de extraíbles disminuye desde médula a corteza y de la base al ápice en el árbol. El porcentaje de holocelulosa aumenta de médula a corteza y con la altura en el árbol obteniéndose un valor medio de 66%. El contenido de lignina disminuye desde la médula a la corteza y desde la base al ápice, su valor medio fue de 33%.*

*La composición química de la madera de ciprés permite esperar que no presente inconvenientes para ser pulpada a través de un proceso químico normal, y que está dentro de los márgenes habituales para coníferas, destacándose su bajo contenido de extraíbles y el alto contenido de lignina.*

*Palabras Clave: Composición Química de la Madera, Cupressus lusitanica*

## **ABSTRACT**

*The study aimed at the determination of the chemical composition of the wood of **Cupressus lusitanica** variation related to its position on the stem.*

*10 stems from two stands were collected, and wood specimens were taken at about base, middle and top heights of the trees and each six rings from the pith to the bark.*

*The extractive content decreases from the pith to the bark and at increasing height on the tree. The holocellulose content increases from the pith to the bark and with the height on the tree, showing an average value of 66%. The lignin content decrease from the pith to the bark and from the base to the top; the average value obtained was 33%.*

*The chemical composition of the wood indicates that it should not present problems to be pulped through a normal chemical process, and it is in the range found in conifers, remarking the low extractive and high lignin content of the species.*

**Keywords:** *Wood Chemical Composition, **Cupressus lusitanica***

## INTRODUCCIÓN

En Chile se han introducido diferentes especies forestales de rápido crecimiento, especialmente coníferas, entre las que se destacan pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) y pino oregón (*Pseudotsuga menziessi* (Mirb.), Franco). Junto a ellas existen otras que se han considerado como posibles alternativas, aún cuando no han alcanzado tasas de forestación importantes. Tal es el caso de ciprés mexicano (*Cupressus lusitanica* Mill.), cuya área de distribución natural incluye México y Guatemala (FAO, 1980; Vásquez, 1984).

La utilización del recurso existente y el incremento de las superficies reforestadas con esta especie, están sin duda relacionados con las características tecnológicas de la madera que se obtiene de ella en Chile. De ahí el interés por estudiar la propiedades y características de la madera de ciprés que crece en el país, y sus aptitudes como material de pulpage.

Desde hace algún tiempo, se sabe de la viabilidad de usar la madera de *C. lusitanica* para producir celulosa. En Brasil existe un uso determinado de la especie para la producción de celulosa al sulfito de calidad comercial. A pesar de ello son pocos los antecedentes que se encuentran en la literatura.

Foelkel y Zvinakevicius (1978) dentro de su estudio de madera de especies exóticas para la producción de celulosa kraft incluyeron la de *C. lusitanica*. Los autores determinaron una densidad básica en el DAP de  $0,381 \text{ g/cm}^3$  y una composición química con un bajo contenido de extraíbles siendo los solubles en agua caliente y alcohol-benceno del orden de 1,36%, solubles en soda al 1% de 9,5% y los porcentajes de holocelulosa y lignina de 72% y 34%, respectivamente.

Palmer et al. (1986) determinaron las características pulpables de dos muestras de *C. lusitanica* de 10 y 29 años de edad crecidas en una región de la India. Estas registraron una densidad de unos  $400 \text{ kg/m}^3$  y fueron pulpadas mediante el proceso sulfato sin dificultad alguna. La madera presentó bajos contenidos de extraíbles en agua y etanol-benceno, siendo éstos del orden del 3%. Los contenidos holocelulosa y de lignina fueron de 62% y 32%, respectivamente.

En la sección transversal de un fuste, la madera presenta diferentes propiedades y características a través de su ubicación en el radio. La madera más cercana a la médula, llamada madera juvenil, presenta en coníferas menor densidad y largo de traqueidas, mayor ancho de anillos y ángulo fibrilar, y otras diferencias si se compara con la madera madura más alejada del centro del árbol. Estas provienen principalmente del efecto que ejerce la cercanía de la copa en el cambium. La influencia se pierde a medida que crece el árbol y la copa se aleja de una determinada zona cambial, la que deja de formar madera juvenil. Las diferencias de comportamiento tecnológico entre la



madera juvenil y madura tienen especial importancia en coníferas de crecimiento rápido. El volumen de madera juvenil en estas especies es muy importante, ya que su producción es mayor a medida que disminuye la edad de rotación y en casos llega a un 100% si se emplean las dimensiones menores de los árboles o el producto de raleos (Díaz-Vaz y Ojeda, 1980).

El objetivo del trabajo consistió en estudiar la variación en composición química de la madera de ciprés (*C. lusitanica*), en relación a su posición en el fuste del árbol.

## MATERIAL Y MÉTODO

El material empleado es parte del utilizado en el estudio tecnológico de la especie, llevado a cabo en el Instituto de Tecnología de la Madera (Vásquez, 1984).

Para el desarrollo del estudio se dispuso de las plantaciones de *C. lusitanica* del Fundo Las Palmas ubicado a 15 km de Valdivia, X Región, Chile, de donde se seleccionaron dos parcelas (1 y 2) de edades entre 26 y 28 años.

Debido a que se iniciaron diversos estudios en forma conjunta, la totalidad de los árboles seleccionados una vez volteados fueron divididos de acuerdo a las necesidades de cada caso en particular. De este modo, para el presente trabajo en cada parcela se seleccionaron 5 árboles, de los cuales se obtuvieron rodelas en las zonas basal, media y apical del fuste, designadas como alturas 1, 3 y 5, respectivamente, las cuales permanecieron almacenadas en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Instituto hasta la realización de este trabajo.

A partir de las rodelas se obtuvieron muestras cada 6 anillos en cada una de las tres alturas. En la dirección de médula a corteza éstas correspondieron a: 1 (0-6 anillos), 2 (7-12 anillos), 3 (13-18 anillos) y 4 (19-24 anillos), de donde se obtuvo un total de 11 muestras por árbol (considerando sentido radial y apical).

Desde las muestras obtenidas se obtuvieron astillas en forma manual con dimensiones aproximadas de 1 pulgada de largo, 3/4 pulgada de ancho y 4 mm de espesor. En seguida las astillas se almacenaron para su posterior procesamiento.

A cada muestra se le determinó su composición química de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Solubles en:
  - Etanol-Tolueno TAPPI T 204 om-88
  - NaOH 1% TAPPI T 212 om-88
  - Agua caliente TAPPI T 207 om-88
  - Agua fría TAPPI T 207 om-88
- Cenizas TAPPI T 211 om-88
- Lignina TAPPI T 222 om-88
- Holocelulosa Poljak (Navarro, 1970)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro N°1 presenta la composición química promedio de los cinco árboles provenientes de cada parcela. Los valores promedio concuerdan con los obtenidos por otros autores para la especie (Foelkel y Zvinakevicius (1978), Palmer et al. (1986)). Se destacan su bajo contenido de extraíbles y su alto contenido de lignina.

En las Figuras 1 a la 8 se muestra la variación de la composición química en relación a la posición en el fuste.

Los solubles en etanol-tolueno disminuyen en dirección radial desde médula a corteza y en dirección apical desde la base al ápice. En la parcela 2, en las alturas basal y media y a partir del 3<sup>er</sup> grupo de anillos desde médula a corteza, se observa un aumento en el contenido de extraíbles.

Los valores en agua caliente y agua fría (Figura N°2 y 3), disminuyen en dirección radial desde médula a corteza y en dirección apical desde la base al ápice. En los árboles de la parcela 2 este comportamiento se mantiene sólo hasta el 3<sup>er</sup> grupo de anillos, a partir del cual el contenido de solubles aumenta en ambas direcciones.

Cuadro N°1  
COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE *Cupressus lusitanica*

Composición (% bms)	PARCELA 1	PARCELA 2
Solubles en:		
Etanol-Tolueno	2,20	1,70
Desv. Estándar	0,90	0,80
Soda 1°	12,80	13,00
Desv. Estándar	1,60	1,30
Agua Caliente	2,30	2,30
Desv. Estándar	0,40	0,50
Agua fría	1,50	1,40
Desv. Estándar	0,20	0,20
	0,28	0,30
Cenizas		
Desv. Estándar	0,07	0,06
	32,40	33,10
Lignina		
Desv. Estándar	1,20	1,00
	67,90	64,90
Holocelulosa		
Desv. Estándar	1,50	1,20

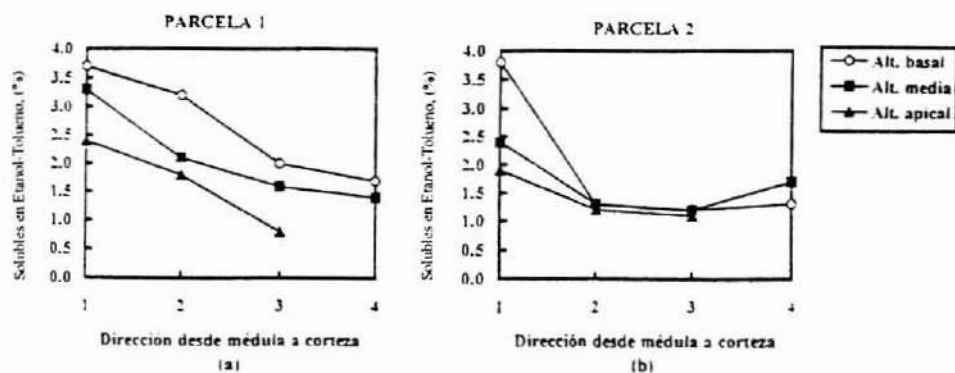


Figura N°1. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLUBLES EN ETANOL-TOLUENO CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

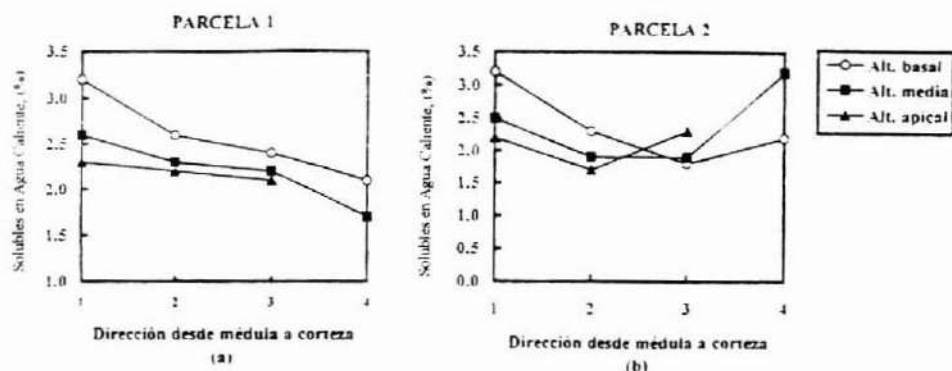


Figura N°2. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLUBLES EN AGUA CALIENTE CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

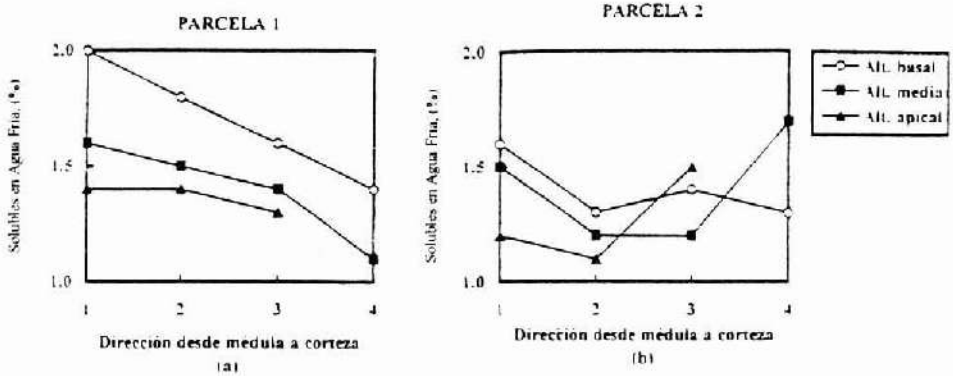


Figura N°3. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLUBLES EN AGUA FRIA CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

Los solubles en soda 1% disminuyen en dirección radial de médula a corteza y en dirección apical desde la base al ápice para los árboles de la parcela 1, en tanto que en la parcela 2 nuevamente el comportamiento se invierte a partir del 3<sup>er</sup> grupo de anillos (Figura N°4b).

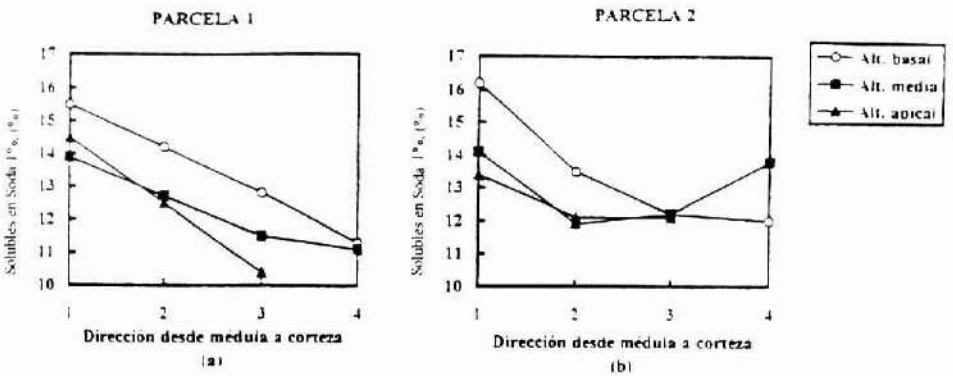


Figura N°4. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE SOLUBLES EN SODA 1% CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

El contenido de holocelulosa (Figura N°5) aumenta en dirección radial de médula a corteza y en dirección apical desde la base al ápice.

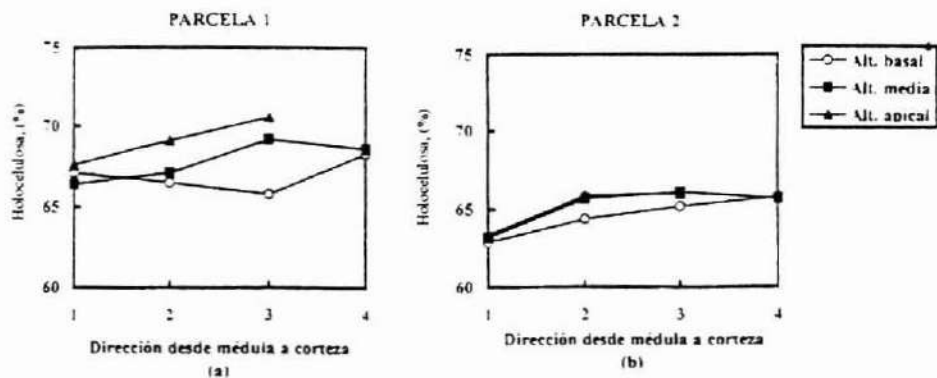


Figura N°5. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HOLOCELULOSA CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

En la Figura N°6 se muestra el contenido de lignina, que disminuye en la dirección radial de médula a corteza y en dirección apical desde el ápice a la base. En la parcela 2 el contenido de lignina tiende a aumentar entre el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> grupo de anillos (Figura N°6b).

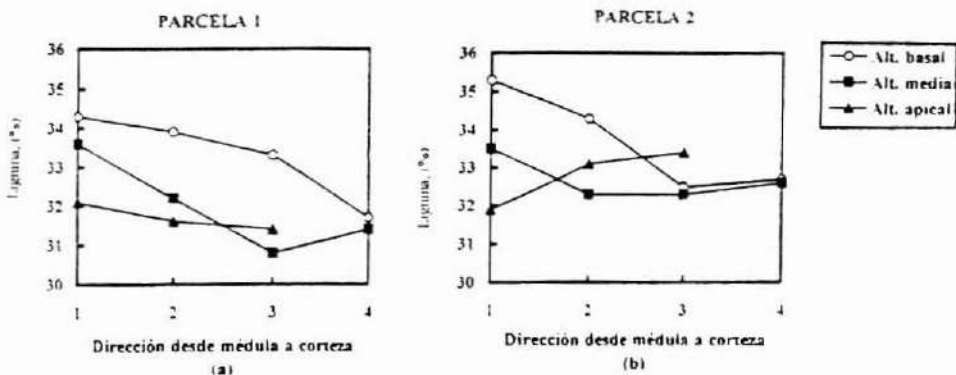


Figura N°6. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGNINA CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

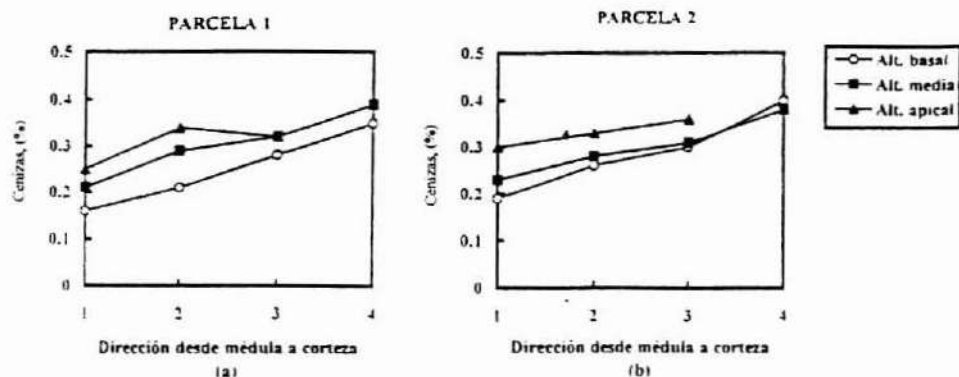


Figura N°7. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS CON LA POSICIÓN EN EL FUSTE.

El contenido de cenizas (Figura N°7) aumenta de médula a corteza y con la altura en el árbol, para las dos parcelas. Esto es debido a que los compuestos inorgánicos participan en la función metabólica del árbol, la cual se desarrolla principalmente en la zona de la albura.

## CONCLUSIONES

En general la madera de ciprés muestra una variación en composición química similar a la observada en otras coníferas, en relación a la posición en el fuste (Uprichard, 1971).

Con respecto a la composición química, entre las distintas parcelas no se observaron diferencias significativas, pero sí hubo un comportamiento diferente en relación a la posición en el fuste. En la parcela 2 se produjo una diferencia en todas las propiedades del 3<sup>er</sup> grupo de anillos desde médula a corteza, y dadas las características de esta porción de madera, cabe suponer que en la parcela 2 hubo presencia de madera de reacción o compresión, aun cuando no se realizaron ensayos físicos. En el caso de las coníferas la madera de compresión tiene mayor contenido de extraíbles y lignina y menor contenido de celulosa que la madera normal.

Los valores de composición química son normales y se encuentran dentro de los márgenes característicos para la clase. Destaca si el bajo contenido de extraíbles y el alto porcentaje de lignina presentes en la madera, como también fue determinado por otros autores (Foelkel y Zvinakevicius, 1978; Palmer et al., 1986).

De esta manera es posible concluir que el *C. lusitanica* no presenta complicaciones desde el punto de vista químico para ser utilizado en la elaboración de pulpa química.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Díaz-Vaz, J.; Ojeda, F., 1980. Densidad Intraincremental de *Pseudotsuga menziessi*. I Variaciones en un Análisis Fustal. *Bosque*, 3(2):86-95
- FAO., 1980. Pulping and Paper-making of Fast Growing Plantation Wood Species, 1:101-103, Rome
- Foelkel, C.; Zvinakevicius, C., 1978. Coníferas Exóticas Aptas para Producción de Celulosa Kraft II "*Cupressus lusitanica*". CENIBRA pesquisa, (59). Belo Oriente. Cenibra
- Navarro, J., 1970. Temas de la Fabricación del Papel. Editorial Marfil S. A., España-Alcoy, p 63
- Palmer, E.; Gibbs, S.; Ganguli, S. and Dutta, A. P., 1986. Pulping Characteristics of *Cupressus lusitanica* and *Podocarpus milanjianus* Grown in the Sudan. Trop. Devt Res. Inst. Rept. L73:23p.
- Uprichard, J. M., 1971. Cellulose and Lignin Content in *Pinus radiata* D. Don. Within-Tree Variation in Chemical Composition, density and tracheid length. *Holzforschung*, 25(4):97-105.
- Vásquez, F. R., 1984. Fibra revirada en *Cupressus lusitanica* (Mill) Crecido en Valdivia. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.

# MODELOS DE CRECIMIENTO INDIVIDUAL PARA RENOVALES DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb)(Oerst)) Y RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp et Endl))

CARLOS BAHAMÓNDEZ VILLARROEL.

Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, División Ordenación Forestal e Inventarios.

## RESUMEN

*Se presenta un modelo de crecimiento individual en diámetro para renovales de Roble-Rauli. Se utilizan datos provenientes de parcelas permanentes instaladas con este propósito por el Instituto Forestal en el marco del proyecto "Investigación Modelos de Simulación para Renovales de Roble-Rauli" encargado por la Corporación de Fomento de la Producción. Se calculan dos ecuaciones para la estimación del incremento anual corriente en DAP para roble y rauli, tanto para monte bajo como monte alto. La metodología utilizada comprende el uso del concepto de Espacios de Estados y el método de estimación corresponde al uso de Máxima Verosimilitud.*

*Palabras Clave: Modelos de Crecimiento, Renovales, Nothofagus obliqua, Nothofagus alpina.*

## ABSTRACT

*A diameter growth model for Roble - Rauli second growth forest is proposed. The models are based in data from permanent plots installed by the project "Research in Simulation Models in Roble - Rauli Second Growth Forest" sponsored by CORFO (Corporación de Fomento de la Producción). Two annual increment in diameter model for Roble - Rauli natural forest are estimated, the first one for coppice forest and the second one for forest regenerated from seed. The models are based on the space state approach and the parameter estimation method is the maximal likelihood.*

*Keywords: Growth Models, Second Growth Forests, Nothofagus obliqua, Nothofagus alpina.*



## INTRODUCCIÓN

Los rodales de Roble Raulí se caracterizan por cubrir zonas cordilleranas en situaciones de media ladera entre los 600 y 1200 m.s.n.m. Su distribución geográfica alcanza desde las Regiones VIII a X, presentándose bajo variadas situaciones climáticas y geográficas. Gran parte de las masas boscosas deben su origen a fenómenos de carácter catastrófico, como son incendios fortuitos o intencionales, y cortas indiscriminadas para habilitación de tierras de pastoreo. Debido a esto, la mayoría de los individuos provienen de regeneración de tocón, dada la alta capacidad de retofiación de las especies componentes del tipo como son roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*Nothofagus alpina*), lingue (*Persea lingue*) tepa (*Laurelia philippiana*), avellano (*Gevuina avellana*) entre las más importantes.

Debido a su origen los rodales de roble-raulí presentan desde etapas muy tempranas efectos de competencia, a nivel de retoños en el tocón primero y por espacio y luz luego, cuando la selección de retoños ha reducido el número de varetas. Esta dinámica competitiva presente en todas las etapas de crecimiento del renewal, puede ser positiva ya que estimula en el inicio del desarrollo, la selección de individuos mejor dotados o favorecidos. A su vez, el rápido desarrollo en altura le permite dejar atrás a posibles competidores. Sin embargo, esta temprana acentuación de la competencia por recursos tiene también aspectos negativos, ya que como resultado de ella, la variabilidad de tamaños es manifiesta desde mucho antes que en el caso de rodales con espaciamientos más regulares. Otro aspecto negativo derivado del origen de los rodales es la imposibilidad de los individuos de acceder a nuevos espacios disponibles, ya que la posición del tocón que les dió origen se mantiene en el tiempo, arrastrando con ella sus características de recursos, localización espacial, y en cierto modo determinando el crecimiento futuro por las características históricas asociadas a la localización del tocón.

De acuerdo a lo anterior, la modelación de éstos rodales a un nivel agregado, como puede ser el caso de los modelos de crecimiento basados en datos medios por hectárea, no aparece como recomendable, ya que sus datos se basan sobre condiciones de sitio homogéneas. La alternativa es utilizar un enfoque de modelación desagregado, como los modelos de crecimiento de árbol individual. Esto permite dar cuenta de las relaciones de competencia interindividuos entregando un modelo basado en una conceptualización con carácter más explicativo que descriptivo.

El crecimiento a nivel individual para rodales de Roble Raulí se ha determinado como una forma de alimentar el modelo de simulación producto del proyecto INFOR (filial CORFO) "Investigación Modelos de Simulación para Rodales de Roble-Raulí". Este proyecto está orientado a habilitar tecnología para evaluar distintos escenarios de manejo. El crecimiento para propósitos de este estudio se considera como

el cambio gradual en tamaño y funcionalidad a través del tiempo. Este proceso se encuentra afectado por diversas componentes, entre las que destacan dos principales, las de origen meramente genéticas (genotípicas) y las de origen ambiental (fenotípicas). Ambas condicionantes controlan el crecimiento afectando en forma positiva o negativa este proceso.

En el presente estudio se considera la evaluación del crecimiento, teniendo presente el entorno inmediato del individuo como un indicador de la competencia por recursos. Esta aproximación permite el modelar el crecimiento mediante el uso de índices que miden el grado de competencia que caracteriza a cada individuo, dada su posición relativa y su tamaño actual.

Se analizan el crecimiento en DAP (Diámetro a la altura del pecho), incluyendo un índice que aproxima la dominancia o preponderancia del individuo para con los competidores inmediatos. A su vez, se calculan ecuaciones de crecimiento juvenil en diámetro y ecuaciones de crecimiento en altura total.

## MODELOS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

Para la estimación de los modelos de crecimiento se utiliza la aproximación de espacios de estado, descrita por Garcia (1979,1984). Esta aproximación permite mediante el uso de datos actuales describir el comportamiento futuro, bajo el supuesto que el comportamiento de la variable en el futuro se encuentra determinado por su estado actual, es decir, dos individuos con estados actuales iguales se comportarán de la misma forma en el futuro no importando su historia pasada (Garcia 1994). A su vez y sobre la base de los supuestos descritos por Garcia (1984), se asume que si la muestra es lo suficientemente grande, existe mayor probabilidad de explicar mas situaciones de crecimiento, puesto que se dispondrá de mayor cantidad de puntos de partida, en que cada individuo representa un estado compuesto por variables de tamaño (diámetro, altura, diámetro de copa, etc) y variables de competencia (dominancia  $W$  en este caso).

### Modelo de Estimación de Crecimiento en Diámetro.

De acuerdo con lo anterior, y para el caso de la estimación de crecimiento en diámetro, el vector de partida corresponde a:

$$dy/dt = f(DAP, W)$$

Este enfoque permite incluir la competencia por recursos, como variable explicatoria de la variación en respuestas que presentan diámetros similares. La modelación de individuos se realiza sobre la base de la descripción del crecimiento

potencial en diámetro (descrito por los datos) y controlado por un estimador de la competencia.

El siguiente modelo fue evaluado para la estimación del crecimiento en diámetro:

$$\frac{dy}{dt} = \delta + \frac{\alpha}{(1 + \exp(\beta - \tau y))} \quad (1)$$

donde:

- $dy/dt$  : Incremento de variable dependiente (DAP,H,AB,etc)  
 $\alpha, \beta, \delta, \tau$  : Coeficientes de regresión.  
 $y$  : Variable independiente ( $y=W*DAP$ ).

con

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{(dx - d_{ij})} \frac{(D_i - D_j)}{(D_i + D_j)} \quad (2)$$

donde:

- $W_i$  = Dominancia del árbol "i"  
 $D_i$  = Diámetro (DAP) del árbol objeto "i"  
 $D_j$  = Diámetro (DAP) del árbol competidor "j"  
 $d_{ij}$  = Distancia entre árbol objeto y árbol competidor.  
 $dx$  = Radio máximo de influencia (4.1 m).  
 $n$  = Número de individuos competidores en el radio máximo.

En el modelo descrito se utiliza como variable independiente la variable transformada  $W*DAP$ . Esta variable permite la ponderación necesaria para el control del incremento estimado en diámetro, de acuerdo al estado del individuo en relación con su entorno inmediato. El uso de esta variable evita que la curva (1) presente asíntota fija independiente de la densidad, posibilitando con esto, el alcance de valores altos de incremento si existe una liberación del individuo de sus competidores inmediatos.

### Modelo de Estimación para la Altura Comercial.

Para la estimación de la altura comercial se presenta el modelo logístico siguiente:

$$\frac{dH}{dt} = \alpha H - \beta H^2 \quad (3)$$

donde

$dH/dt$	:	Incremento anual corriente en altura comercial (m)
$\alpha, \beta$	:	Coefficientes de regresión.
$H$	:	Altura comercial (m)

La integral de la expresión (2) corresponde a:

$$H_t = \frac{MH_0}{H_0 + (H_0 + (M - H_0) \exp[-\beta M \Delta t])} \quad (4)$$

donde

$H_t$	:	Altura comercial (IU=10 cm) (m)
$H_0$	:	Altura inicial.
$M$	:	Asíntota ( $\alpha/\beta$ ).
$\Delta t$	:	Intervalo de tiempo.

#### Estimación de Parámetros Asociados a los Modelos.

La estimación de los parámetros del modelo para crecimiento en diámetro se realizó mediante la aproximación de las Series de Expansión de Taylor (Apéndice N° 1). Para el modelo de crecimiento en altura se utiliza mínimos cuadrados.

#### - Estimación de Parámetros para Ecuación de Crecimiento en Diámetro.

El método de ajuste consiste en la búsqueda de los parámetros  $\alpha, \beta, \delta, \tau$  mediante iteraciones que evalúan las diferencias entre valores observados y valores estimados en función de los parámetros iniciales y de acuerdo a su función de verosimilitud. La expresión utilizada para la estimación de parámetros basados en la serie de expansión de Taylor para la primera derivada es:

$$y_i - f_i \sum_{j=1}^p (\theta_j - \theta_{i,obs}) \left[ \frac{df(\theta)}{d\theta_j} \right] + e_i \quad (5)$$

donde

$y_i$	:	Valores observados de la variable dependiente.
$f_i$	:	Valores estimados por la función en función de los parámetros $\theta_j$ .
$b_j$	:	Valor poblacional de parámetros.

$b_{i,obs}$	:	Valor inicial estimador de parámetros.
$df(b)/db_i$	:	Derivada de función respecto al parámetro.
$e_i$	:	Error

#### Verosimilitud de los Estimados.

En los casos de regresión de modelos lineales, el estimador máximo verosímil corresponde con las ecuaciones normales del método de los mínimos cuadrados. Sin embargo, el modelo (1), no permite la construcción de ecuaciones normales debido a lo dificultoso de su diferenciación, luego se debe establecer la expresión de la función de verosimilitud calculando la función de probabilidad conjunta para los incrementos dado los parámetros  $\alpha, \beta, \delta, \tau$ . Entonces, la función logarítmica de verosimilitud, corresponde a:

$$\log L(\alpha, \beta, \delta, \tau) = -\frac{n}{2} \log(2\pi) - \frac{n}{2} \log(\sigma^2) - \frac{n}{2\sigma^2} \sum (y_i - E(y_i))^2 \quad (6)$$

donde

$\log$	:	Logaritmo natural base $e$
$\sigma^2$	:	Varianza de los incrementos en diámetro.
$n$	:	Número de observaciones.
$E(y_i)$	:	Esperanza del estimado.

#### Estimación de parámetros para ecuación de crecimiento en Altura.

La estimación de los parámetros  $\alpha, \beta$  del modelo (3) se calcula mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios, utilizando los estadígrafos indicadores de ajuste, característicos del método, como son el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), el Cuadrado Medio del Error (CME%), el Error Estándar de Estimación ( $S_{yx}$ ), el estimador de autocorrelación Durbin y Watson, y el Coeficiente de autocorrelación ( $\rho$ ).

Las expresiones siguientes describen los estadígrafos citados:

$$r^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{\sum \left[ \hat{y} - \bar{y} \right]^2}{\sum \left[ y - \bar{y} \right]^2} \quad (7)$$

$$CME\% = \frac{100}{x_{\text{medio}}} \sqrt{\frac{\sum [x_o - x_e]^2}{n}} \quad (8)$$

$$S_{yx} = \sqrt{CME} = \sqrt{\frac{\sum [x_o - x_e]^2}{n}} \quad (9)$$

$$d = \frac{\sum (e_t - e_{t+1})^2}{\sum e_t^2} \quad (10)$$

$$\rho = \frac{N^2(1 - d/2) + k^2}{N^2 - k^2} \quad (11)$$

donde

- $e_{t,t+1}$  : Errores de la observación  $t$  y  $t+1$ .  
 $N$  : Número total de observaciones.  
 $k$  : Número total de parámetros del modelo incluida la constante.

## DATOS

Los datos básicos provienen de parcelas permanentes instaladas en 1991 bajo el proyecto "Investigación modelos de Simulación para renovales de Roble-Raulí". Estas parcelas en número de 3, comprenden una extensión de 1 hectárea cada una y 2 de ellas se localizan en la cordillera de los Andes, en el límite de la VIII y IX Regiones, frente a la Reserva Forestal Malleco, específicamente en los predios EL Morro y El Carmen y Maitenes de propiedad de Forestal JCE. Una tercera parcela se ubica en la X Región, en el sector del Complejo Panguipulli, Nueva Remeco, de propiedad de Neltume y Carranco. El total de árboles muestreados corresponde a 3962 individuos con rangos de edad entre 37 y 56 años.

Cada parcela permanente presenta mayoritariamente raulí (*Nothofagus alpina*) y roble (*Nothofagus obliqua*) en el dosel superior, y lingue (*Persea lingue*), avellano (*Gevuina avellana*) y tepa (*Laurelia philipiana*) en los doseles intermedio e inferior.

En cada parcela permanente se obtiene información de tamaño de cada individuo, DAP, altura total, altura a inicio de copa, diámetro a inicio de copa, Diámetro de Copa, muestra de edad y posición en plano cartesiano de todos los individuos. Para la estimación de mortalidad se ha realizado un seguimiento de éstas parcelas durante 5 años.

El cuadro N° 1 describe la distribución de frecuencias en diámetro para las parcelas permanentes de las Regiones VIII-IX y X.

Cuadro N°1  
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE DIÁMETROS PARCELAS PERMANENTES.

Clase Diamétrica (cm)	VIII-IX	X
	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Relativa (%)
10-15	28	51
15-20	19	46
20-25	22	3
25-30	22	-
30-35	7	-
35-40	1	-
40-45	1	-
Total	100	100

## AJUSTE DE MODELOS Y RESULTADOS.

### Modelos de Estimación de Crecimiento Diametral.

El modelo final para las zonas comprendidas entre las Regiones VIII (Sur), IX y X se describe a continuación:

Cuadro N°2  
PARÁMETROS DE ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN DIÁMETRO, (REGIONES VIII Y IX,  
DAPC/C ENTRE 10 Y 30 CM) (REGIÓN X, DAPC/C ENTRE 10 Y 20 CM)

Parámetros	VIII y IX	X
$\alpha$	0,48910	1,052
$\beta$	-0,10200	-0,028
$\tau$	0,65510	0,196
$\delta$	0,014985	0,352

## Validación de los Modelos de Crecimiento en Diámetro.

Para evaluar el comportamiento del modelo de acuerdo a valores medios de competencia por clase diamétrica, se compara con datos reales de incrementos, evaluando el modelo de acuerdo a las características reales de tamaño y dominancia de la observación real..

Las figuras N° 1 y N° 2 describen el comportamiento de las curvas de crecimiento en diámetro para las Regiones VIII-IX y X, respectivamente, en función de distintos niveles de dominancia teóricos, y comparan el comportamiento del modelo evaluado con datos reales. En la Figura N° 1, la curva "Dom+" describe la trayectoria de un individuo cuya dominancia se mantiene en el tiempo sin variación, y corresponde con un árbol dominante. Por su parte, la curva "Dom -" describe el comportamiento de un individuo suprimido y con dominancia negativa, mientras que la curva "Dom prom" representa a un individuo sometido a dominancia media, esto es con presencia de competidores a niveles tolerables en número y distancia. Se puede considerar esta situación como representativa de la realidad para la mayoría de los renovales, es decir, un bosque cuya competencia esta evidenciando efectos negativos por la presencia de individuos competidores, pero cuya situación es posible de revertir mediante raleo. Al observar la curva "inreal", se concluye que los individuos de diámetros pequeños (rangos de 10 a 20 cm) están afectados por dominancia excesiva de competidores, mientras que el rango diamétrico superior (mas de 20 cm), se encuentra en situación aún favorable y recuperable.

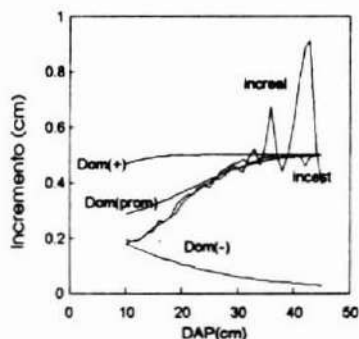


Figura N° 1. COMPORTAMIENTO DEL MODELO VIII Y IX REGIONES FRENTE A DATOS REALES.



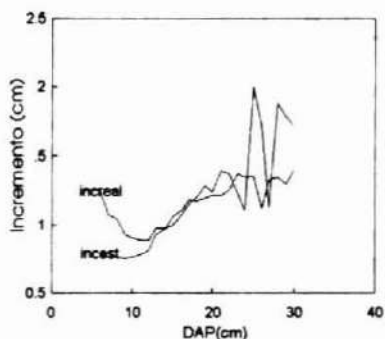


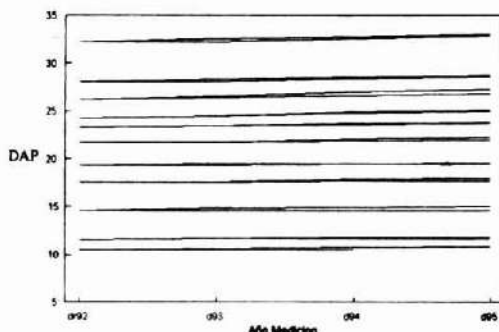
Figura Nº2. COMPORTAMIENTO DEL MODELO X REGIÓN FRENTE A DATOS REALES.

Es interesante notar que individuos de gran tamaño sometidos a alta dominancia por sus competidores inmediatos aparecen más fuertemente afectados que individuos más pequeños. Esto concuerda con el supuesto básico, que individuos más grandes crecen más, pero, a su vez, se verían más afectados por competencia dada la necesidad de mantener un sistema más grande. Luego una reducción en la disponibilidad de recursos redundaría en una pérdida de crecimiento en favor de la mantención individual.

Las curvas "inccreal" e "inccst" de las Figuras Nº 1 y Nº 2, muestran como el modelo se ajusta a los valores medios reales calculados a partir de la muestra, de dominancia y diámetro. Es evidente de la Figura Nº 1, correspondiente al modelo de las Regiones VIII-IX, que diámetros superiores a 30 cm difícilmente son bien representados por el modelo. Esto debido por una parte, a la baja muestra asociada a estos tamaños (menos del 10%, Cuadro Nº1) y por otra a que los individuos que presentan estos tamaños distan mucho de ser representativos de un renoval. Es evidente la gran variación asociada a valores reales de incrementos de éstos individuos, por lo que el modelo tiende a ser asintótico a niveles de DAP mayores de 32 cm.

El modelo asociado a la X Región, describe un comportamiento consistente en el rango de DAP de 10 a 20 cm para la evaluación a partir de datos medios reales provenientes de la parcela permanente. Dado lo anterior, proyecciones de individuos de diámetros fuera de estos rangos tenderán a tomar valores de asintóticos.

La Figura Nº 2 muestra el ajuste de las curvas estimadas a las observadas, para un grupo de individuos de las Regiones VIII y IX. La selección se realizó en forma de representar todos los tamaños.



**Figura Nº3. COMPARACIÓN ENTRE DIÁMETROS OBSERVADOS Y ESTIMADOS POR EL MODELO VIII-IX.**

Se observa en la Figura Nº 3 que el ajuste de la función de crecimiento para las Regiones VIII-IX, dentro del rango de validación de 3 años, es aceptable. Los datos reales comprenden las lecturas anuales de los individuos contenidos en las parcelas permanentes, que a la fecha corresponden a 4 mediciones. Aunque no se cuenta con mayor período de medición, en el tramo descrito la proyección del crecimiento en diámetro es confiable. Este ejercicio no es posible de realizar para la X Región debido a que el período de mediciones no supera aún los 2 años.

#### **Modelos de Estimación de Crecimiento en Altura.**

Los coeficientes estimados del modelo de crecimiento en altura corresponden a los siguientes:

$$\alpha : 0,102382$$

$$\beta : -0,004656$$

con:

$$r^2 : 0,6454$$

$$S_{yx} : 0,004806$$

$$n : 407$$

$$d : 1,887$$

$$\rho : 0,0565$$

La Figura Nº 4 muestra el comportamiento de la curva de crecimiento en altura comercial (IU=10 cm), en un período de 40 años para individuos de 10,14,18 y 21 m de altura inicial. Esta curva de crecimiento presenta una asíntota de 22 m y se aplica por igual a cualquier individuo de los renovales cuya altura inicial sea menor al valor asíntótico.

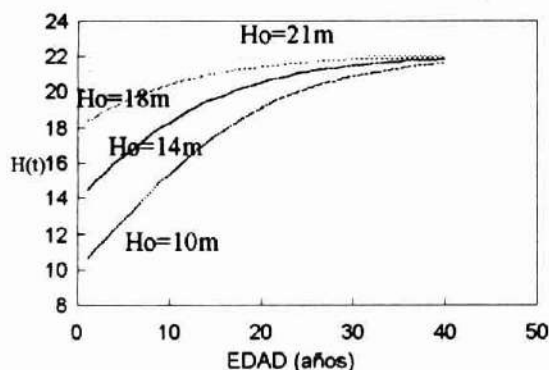


Figura N°4. COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN ALTURA COMERCIAL.

## CONCLUSIONES

El análisis y evaluación de distintas pautas de manejo suele enfrentarse en Chile mediante la instalación de parcelas experimentales, esta alternativa resulta en la mayoría de los casos una aproximación muy costosa debido al tiempo que debe transcurrir para realizar las estimaciones.

Mediante el uso de las metodologías propuestas, las estimaciones de crecimiento, tanto juvenil como adulto, permitirán la realización proyecciones de crecimiento con suficiente solidez y confiabilidad estadística. Por otro lado, el apoyo de datos originados en parcelas permanentes permitirá a su tiempo la validación y calibración de estas ecuaciones mientras más mediciones incrementen las bases de datos respectivas. Las funciones de crecimiento presentadas resultan además en una poderosa herramienta de apoyo a la planificación del recurso renovales de Roble - Raulí al ser utilizadas en una plataforma computacional como un simulador.

## REFERENCIAS

- Aflifi A.A. Azen S.P., 1979. Statistical Analysis, a Computer Oriented Approach. Academic Press
- Bahamóndez C.; Martín M.; Kahler C.; Blanco R., 1992. Modelos Simulación para Renovales de Roble-Raulí. Informe Final-Etapa Preliminar. Instituto Forestal
- Bahamóndez C.; Martín M.; Kahler C.; Blanco R., 1993. Investigación Modelos de Simulación para Renovales de Roble-Raulí. Informe de Avance. (Junio 1993). Instituto Forestal.

**Bahamóndez C.; Martín M.; Kahler C.; Blanco R., 1994.** Investigación Modelos de Simulación para Renovales de Roble-Rauli. Informe de Avance. (Diciembre 1994). Instituto Forestal.

**Bartlett M.S., 1966.** Stochastic Processes. Cambridge University Press.

**García O., 1984.** New Class of Growth Models for Even-Aged Stands: *Pinus radiata* in Golden Downs Forest. New Zealand Journal of Forestry Science 14(1): 65-68 (1984)

**García O., 1994.** The State-space Approach in Growth Modelling. Canadian Journal of Forest Research. 24: 1894-1903. 1994.

**Scheid F.; Di Constanzo R.E., 1991.** Métodos Numéricos. McGraw-Hill.

**Volkov E.A., 1990.** Métodos Numéricos. Editorial MIR - Moscú.

## APÉNDICE 1

### Estimación de Parámetros por Series de Expansión de Taylor.

Este método de búsqueda de parámetros para una función se basa en el método de aproximación polinomial o método del polinomio interpolador por Series de Expansión de Taylor. Esta técnica es particularmente útil para estimación de parámetros en funciones no lineales.

Sea el polinomio:

$$Q_n(x) = \sum_{k=0}^n \frac{\partial^k f(x_0)}{k!} (x - x_0)^k \quad (1)$$

Conocido como el polinomio de Taylor, con la propiedad de que en el punto  $X=X_0$  todas sus derivadas del orden hasta  $n$ , coinciden con las derivadas correspondientes a la función  $f(x)$ .

De acuerdo con esta propiedad el polinomio de Taylor asegura una excelente aproximación de la función  $f(x)$ . El error que se obtiene debido a la aproximación por  $Q(x)$  de  $f(x)$  se expresa por :

$$f(x) - Q_n(x) = \sum_{i=1}^p (\theta_i - \theta_{i,obs}) \frac{\partial Q(\xi, \theta)}{\partial \theta_i} + \varepsilon \quad (2)$$

Cuando es necesario encontrar parámetros para una función en particular  $g(x)$ , es decir, la expresión de  $g(x)$  es conocida y de interés por parte del investigador. entonces  $Q(x)$  ya no es objeto de búsqueda como expresión, sino que evaluar  $g(x)$ . Esto implica utilizar la expresión (2) como algoritmo de búsqueda de los parámetros  $\theta$  de forma de minimizar el error por medio de iteraciones sobre la expresión (3) variando los valores de  $\theta_{i,obs}$ .

$$f(x) - g(x, \theta) = \sum_{i=1}^p (\theta_i - \theta_{i,obs}) \frac{\partial g(x, \theta)}{\partial \theta_i} + \varepsilon \quad (3)$$

### Procedimiento para el Cálculo de los Parámetros en la Forma Matricial.

Cuando se trabaja con muchos datos es conveniente utilizar la forma matricial de estimación de parámetros, para esto es recomendable considerar los siguientes datos y procedimientos:

- 1) Establezca cuantos parámetros  $\theta$  tiene la función seleccionada. Por ejemplo la función  $g(x) = \alpha \exp(\beta x)$  presenta 2 parámetros a estimar  $\alpha, \beta$

- 2) Calcule las derivadas parciales de la función respecto a los parámetros  $\alpha, \beta$
- 3) Evalúe las derivadas respecto a los parámetros para un set inicial tentativo de parámetros  $\theta_1 = \alpha_1, \beta_1$ . Esto genera la matriz  $S$ .

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial g(1)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g(1)}{\partial \theta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g(n)}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial g(n)}{\partial \theta_n} \end{bmatrix}$$

- 4) Evalúe la función  $g(x)$  (vector  $F$ ) para los parámetros iniciales tentativos  $\theta_1 = \alpha_1, \beta_1$  y establezca el vector de valores observados  $O$ .

$$F = \begin{bmatrix} g_1(\alpha, \beta) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ g_n(\alpha, \beta) \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

- 5) Calcule el vector de diferencias  $Y$  entre valores observados  $O$  y estimados  $F$

$$Y = \begin{bmatrix} a_1 - f_1 \\ \vdots \\ a_n - f_n \end{bmatrix}$$

6) Considere la siguiente versión matricial de (3).

$$[P] = [S^T S]^{-1} S^T Y$$

donde

$$[P] = [\theta_j - \theta_{est,j}]$$

Este vector  $P$  expresa la diferencia entre el parámetro tentativo  $\theta_t$  y el  $\theta_{real}$ . Luego mediante iteraciones, se puede encontrar el conjunto de parámetros que minimice el error (3).

# PROPIEDADES DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE *Pinus radiata* D. Don CON ASERRÍN DE LA MISMA ESPECIE

ANDRÉS BERTERRECHE (\*) HERNÁN POBLETE (\*\*) y PETER NIEMZ (\*\*\*)

(\*) Ing. Forestal. Universidad Católica del Uruguay. CP 11600, Montevideo Uruguay. FAX (598-2) 470323

(\*\*) Dr. Ing. Forestal. U. Austral de Chile. Fac.Cs.Forestales. Cas.567. Valdivia-Chile. FAX (063)221227

(\*\*\*) Dr. Ing. Forestal. U. Austral de Chile. Fac.Cs.Forestales. Cas.567. Valdivia-Chile. FAX (063)221227

## RESUMEN

*Se estudió el efecto del contenido de aserrín y la densidad en las propiedades: Hinchamiento, Dureza Janka y Flexión Dinámica (impacto), Flexión Estática (MOR y MOE) y Tracción Perpendicular en tableros de partículas de Pinus radiata D. Don.*

*Las características de los tableros fueron: Capas: 3 (20%-40%-20%); Espesor: 16 mm; Contenido de aserrín: 0% a 100 %; Densidad: 570 kg/m<sup>3</sup> y 660 kg/m<sup>3</sup>; Adhesivo: Ureaformaldehído.*

*Todas las propiedades mecánicas se ven afectadas positivamente por incrementos de la densidad, mientras que el porcentaje de aserrín sólo lo hace en relación a la propiedad de Tracción. Flexión Estática (MOR y MOE), Dureza Janka y Flexión Dinámica (Impacto) se correlacionan negativamente con un contenido de aserrín más alto.*

*Palabras Clave: Tableros de Partículas, Pinus radiata*

## ABSTRACT

*The effect of sawdust content and density on properties such as thickness swelling, Janka hardness, dynamic bending (impact), MOR, MOE, and IB were determined in particle boards of Pinus radiata D. Don*

*Board characteristics were: Layers: 3 (20%-40%-20%); Thickness: 16 mm; Sawdust content: 0% to 100 %; Board density: 570 kg/m<sup>3</sup> and 660 kg/m<sup>3</sup>; Adhesive: Ureaformaldehyd.*

*All mechanical properties were positively affected by increasing density, while sawdust content was only positively related to Internal Bond. Bending strenght (MOR and MOE), Janka hardness, and dynamic flexure (Impact) were negatively correlated with higher sawdust content.*

**Keywords:** Particle Boards, *Pinus radiata*





## INTRODUCCIÓN.

La inclusión de desechos en la fabricación de tableros de partículas ha sido objeto de numerosos estudios (Gillwald, 1965; Gerischer, 1977).

En la fabricación de tableros de partículas ha aumentado significativamente la inclusión de finos y aserrín. Baste señalar que en el caso de Chile las plantas más modernas se abastecen en forma importante con este material.

Al incorporar aserrín al tablero en reemplazo de las partículas tradicionales se provocan cambios en prácticamente todas las propiedades mecánicas (Jensen, 1978; Poblete, 1979).

La inclusión de partículas más pequeñas puede provocar un aumento de la resistencia a la tracción y una disminución de la flexión estática (Post, 1958; Poblete, 1985).

En relación a las propiedades físicas, no existe claridad en cuanto al efecto de agregar un material de menores dimensiones. Existen resultados contradictorios al respecto (Berterreche, 1994).

Los trabajos acerca de las propiedades físico-mecánicas de tableros fabricados con distintos contenidos de aserrín de *Pinus radiata* creciendo en Chile son escasos.

Existen además algunas propiedades especialmente importantes cuyo comportamiento aún no ha sido estudiado en profundidad y no se ha llegado a una aclaración total en relación a cómo son afectadas por la inclusión de aserrín. Entre ellas se pueden citar flexión dinámica y dureza, las que tienen importancia desde el punto de vista de las posibilidades de uso de los tableros.

## OBJETIVOS.

Los objetivos del presente trabajo son:

- Determinar el comportamiento de tableros de partículas con dos niveles de densidad, frente a la inclusión de aserrín de *Pinus radiata* D. Don, en las capas externas y media.
- Determinar cuál es el porcentaje máximo admisible, desde el punto de vista técnico, de aserrín en tableros de partículas de tres capas.

## MATERIALES Y MÉTODO.

### Madera

Como material de ensayo se utilizó aserrín proveniente de pino insignie (*Pinus radiata* D. Don) la X Región producido en el corte con sierra sin fin (huincha) (Gentileza de la empresa Aserraderos ARAGON).

Se emplearon además partículas de madera de la misma especie producidas a partir de astillas en un viruteador de anillos con cuchillos del tipo PALLMANN.

### Adhesivo

El adhesivo utilizado fue ureaformaldehído, aplicado en solución con 50 % de sólidos, con la adición de un catalizador ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) en solución al 20 % y en una proporción del 0.5%.

### Método

#### Análisis del Aserrín y de las Partículas

En la caracterización de la geometría y tamaño de ambas fracciones se trabajó de acuerdo con la metodología propuesta por Poblete (1979). Para ello se clasificaron muestras, empleándose cinco tamices (4.0 - 2.0 - 1.0 - 0.5 mm).

La determinación de la densidad se efectuó mediante una relación entre el peso del material en estado anhidro y el volumen medido en estado saturado. El volumen se midió por desplazamiento de agua.

La determinación del valor pH se realizó en suspensiones de agua destilada y madera. Para ello se empleó el material de la fracción más fina obtenida del análisis de tamaño ( $< 0.5$  mm). Las suspensiones se efectuaron mezclando 10 g de material en 100 ml de agua destilada y las mediciones se realizaron después de 4 horas de agitación, determinándose el valor del pH mediante un pH-metro.

#### Fabricación de los Tableros

Tanto las partículas como el aserrín fueron secados hasta un contenido de humedad aproximado de 4 %. El aserrín fue tamizado para separarlo en tres fracciones. De este modo la fracción más gruesa se dispuso para la capa media, la media para la capa externa y la más fina (polvo) se desechó.

Los tableros tuvieron las siguientes características:

- Capas : 3 (40 % capas externas; 60 % capa media).  
Proporciones de aserrín : 0 a 100 % en rangos de 20 %. Estas proporciones fueron del mismo tenor para las caras y para la capa media.  
Densidad : 570 kg/m<sup>3</sup> y 660 kg/m<sup>3</sup>.  
Espesor : 16 mm.  
Encolado : 10 % capas externas; 7 % capa media. Promedio: 8,2%.

En total se realizaron 12 tratamientos (seis contenidos de aserrín para cada densidad) con cuatro repeticiones, lo que dio un total de 48 tableros.

En el prensado se consideró una presión máxima de 3,5 N, un tiempo total de 6 min y una temperatura de 160 °C.

Después de su fabricación, los tableros fueron climatizados según la norma DIN 50014

#### Determinación de las Propiedades de los Tableros

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron según los procedimientos especificados en normas DIN y ASTM. La evaluación de los resultados se efectuó teniendo en consideración las exigencias de la norma DIN 68 763.

Las normas empleadas se enumeran a continuación:

- Densidad y humedad : DIN 52 361.  
Hinchamiento : DIN 52 364.  
Absorción de agua : ASTM 1037.  
Flexión estática (MOR y MOE) : DIN 52 362.  
Tracción perpendicular al plano : DIN 52 365.

Además de los ensayos señalados, se efectuaron determinaciones en las que se emplearon metodologías no normalizadas con adaptaciones de otras normas. Estos métodos se describen a continuación:

- Perfil de densidad : La determinación del perfil de densidad vertical se realizó mediante radiaciones Gamma (Gentileza de la empresa FIBRANOVA S.A.) Esta propiedad se evaluó sobre probetas de 50\*50 mm.

- Flexión dinámica (Impacto) :** Para el caso de flexión dinámica se utilizó una modificación de la norma DIN 52 189, norma para madera sólida, con una distancia entre los puntos de apoyo de 140 mm y utilizando para el ensayo dos probetas encoladas sumando un ancho de 32 mm.
- Dureza Janka :** Para el ensayo de dureza Janka se procedió a partir de una modificación de la norma chilena NCh 978.c85 con probetas de 16 \* 50 \* 100 mm .

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Granulometría del Material Usado

El aserrín utilizado presentó una forma cercana a la cúbica, con dimensiones en longitud y espesor similares. Esto concuerda con lo descrito por otros autores (Klauditz y Buro, 1962; Poblete, 1979). Visualmente se pudo constatar una mayor cantidad de corteza en el aserrín que en las partículas.

Los resultados del estudio de granulometría del aserrín y de las partículas se presentan en el Cuadro N° 1. Las fracciones finas fueron destinadas a las capas externas y las fracciones gruesas a la capa media del tablero.

Cuadro N° 1.  
 COEFICIENTE DE ESBELTEZ

Tipo de Fracción	Coefficiente de Esbeltez
Aserrín sin Clasificación	6,30
Aserrín con clasificación Fracción Fina	5,31
Aserrín con clasificación Fracción Gruesa	7,17
Partículas Tradicionales Fracción Fina	18,33
Partículas Tradicionales Fracción Gruesa	29,74

En el aserrín sin clasificación se observó que el 85 % del material fue retenido en mallas de 0,5 a 2,0 mm, con un largo promedio de 2,9 mm y un espesor promedio de 0,46 mm. El coeficiente de esbeltez registrado (7,1) se encuentra dentro de lo esperado para este tipo de partículas.

La fracción fina del aserrín clasificado concentró un 80 % del material en mallas de 0,5 a 1,0 mm. El largo promedio fue 2,6 mm y el espesor promedio 0,49 mm. En el tamizado de la fracción gruesa del aserrín clasificado se retuvo más del 90 % entre mallas de 0,5 y 2,0 mm. Su largo promedio fue 3,3 mm y su espesor promedio fue

0,66mm. El coeficiente de esbeltez de ambas fracciones fue menor al del material sin clasificar. Esto se debe a la eliminación del material de mayor tamaño.

El largo promedio de la fracción gruesa de las partículas tradicionales fue 11,6 mm y su espesor promedio fue 0,39 mm. El coeficiente de esbeltez ponderado correspondió a lo usado tradicionalmente por la industria. En la fracción fina de las partículas tradicionales, al igual que en el aserrín, se produjo una mayor concentración entre las mallas de 0.5 a 2.0 mm. Las partículas fueron más largas que las de aserrín, 5,5 mm, y el espesor fue menor, 0,30 mm.

Las diferencias en la geometría del aserrín y de las partículas afectan directamente a las propiedades mecánicas de los tableros. En términos generales con aumentos del coeficiente de esbeltez se provocan aumentos de la flexión y disminuciones de la tracción (Post, 1958; Kusian, 1966; Bhagwat, 1971; Poblete 1985).

### Densidad y Valor de pH del Aserrín

La densidad promedio de las partículas de aserrín alcanzó a  $412 \text{ kg/m}^3$ , con valores extremos de  $385$  y  $435 \text{ kg/m}^3$ . Estos valores pueden considerarse dentro de las densidades normales que presenta el pino insigne.

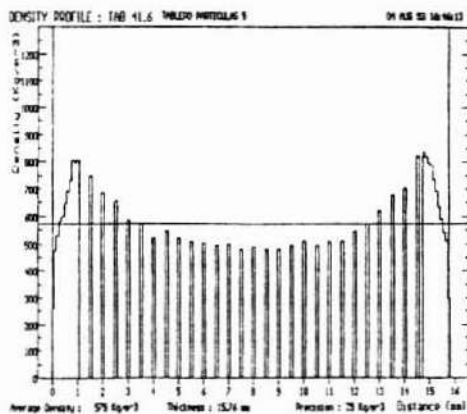
El valor de pH obtenido fue de 4.40. Este se encuentra dentro de los límites que se mencionan en la literatura consultada (Poblete y Sánchez, 1991).

### Propiedades Físicas de los Tableros

#### Perfil de Densidad

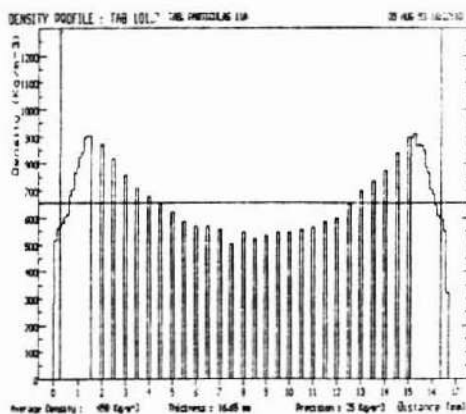
Los resultados de Perfil de Densidad fueron los esperados, presentando los diagramas respectivos la forma típica para este tipo de producto. En la Figura N° 1 se presentan ejemplos del diagrama de tableros con  $570 \text{ kg/m}^3$  y  $660 \text{ kg/m}^3$ .

En todos los tratamientos se obtuvo una densidad máxima situada entre 1,0 y 2,5 mm debajo de cada superficie del tablero y una depresión de esta variable en el centro del mismo.



**SAMPLE PARAMETERS**

Sample ID (DOS file) : TAB 41.6  
 Desc : TABLERO PARTICULAS 5  
 Date : 04 AUG 93  
 Time : 16:46:13  
 Holder : 1  
 Precision (Kg/m<sup>3</sup>) : 25  
 Sample Thickness (mm) : 15.76  
 Nominal Thickness (mm) : 15.75  
 Peak Density Left (Kg/m<sup>3</sup>) : 806  
 Peak Density Right (Kg/m<sup>3</sup>) : 839  
 Surface Density Left (Kg/m<sup>2</sup>) : 475  
 Surface Density Right (Kg/m<sup>2</sup>) : 513  
 Mean Surface Density (Kg/m<sup>2</sup>) : 494  
 Core Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 489  
 Ex-Press Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 575  
 Ex-Sander Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 575  
 Core to Ex-Sander Ratio : 0.85



**SAMPLE PARAMETERS**

Sample ID (DOS file) : TAB 101.7  
 Desc : TAB. PARTICULAS 11A  
 Date : 09 AUG 93  
 Time : 16:27:10  
 Holder : 2  
 Precision (Kg/m<sup>3</sup>) : 25  
 Sample Thickness (mm) : 16.65  
 Nominal Thickness (mm) : 16.10  
 Peak Density Left (Kg/m<sup>3</sup>) : 903  
 Peak Density Right (Kg/m<sup>3</sup>) : 911  
 Surface Density Left (Kg/m<sup>2</sup>) : 575  
 Surface Density Right (Kg/m<sup>2</sup>) : 604  
 Mean Surface Density (Kg/m<sup>2</sup>) : 590  
 Core Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 540  
 Ex-Press Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 658  
 Ex-Sander Density (Kg/m<sup>3</sup>) : 665  
 Core to Ex-Sander Ratio : 0.81

Figura N° 1. DIAGRAMA DEL PERFIL DE DENSIDAD EN TABLEROS DE DE AMBOS NIVELES DE DENSIDAD

El perfil de densidad no fue afectado por la cantidad de aserrín incluida. El análisis estadístico de la relación densidad máxima/densidad capa media, que está correlacionada positivamente con las resistencias mecánicas, tampoco reveló la presencia de diferencias significativas. Se pudo establecer además que no existen diferencias importantes entre las caras de un mismo tablero.

## Humedad

La humedad de los tableros al momento de los ensayos, climatizados según DIN 52 361, varió entre 7,98 % y 8,50 %. Las humedades promedio por tratamiento estuvieron dentro de lo requerido por la norma, entre 5 y 11 % de contenido de humedad en los tableros.

## Hinchamiento a las 2 y 24 Horas

En el tratamiento de dos horas los tableros excedieron el límite exigido por la norma, 8% (Cuadro N° 3). El análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas, a un nivel de significación del 5 %, entre las densidades estudiadas. En el tratamiento de dos horas se determinó que al aumentar la densidad disminuye el hinchamiento.

El que en ninguno de los tratamientos se cumplió con la norma no es importante ya que bastaría con agregar un hidrófobo en la fabricación del tablero para mejorar esta propiedad. La decisión de no incorporar esta sustancia en el ensayo se debió a que la ausencia de hidrófobo permite visualizar mejor las diferencias entre los tratamientos.

La norma DIN determina un hinchamiento máximo de 16 % a 24 horas. Solo los tratamientos con 0, 40 y 80 % de aserrín y densidad 570 kg/m<sup>3</sup> cumplieron con el requisito. Todos los tableros de densidad 660 kg/m<sup>3</sup> superaron la exigencia de la norma (Cuadro N° 3). El análisis de varianza determinó que existen diferencias significativas. Tanto el porcentaje de aserrín como la densidad determinaron dichas diferencias.

En el hinchamiento a 24 horas la densidad fue la variable determinante en esta propiedad; el contenido de aserrín la afectó en menor proporción.

**Cuadro N° 3**  
**HINCHAMIENTO DE LOS TABLEROS A 2 Y 24 HORAS.**

Aserrín (%)		Hinchamiento 2 h (%)		Hinchamiento 24 h (%)	
		Den. 570	Den. 660	Den. 570	Den. 660
0	Media	11,28	10,69	14,81	16,13
	Máxima	12,58	12,50	16,77	20,25
	Mínima	9,38	8,70	12,35	14,20
	D. E.	0,93	1,20	1,22	1,57
20	Media	13,25	11,77	17,30	17,14
	Máxima	14,72	13,58	20,50	19,50
	Mínima	10,69	9,43	14,91	14,47
	D. E.	1,24	1,16	1,75	1,40
40	Media	11,29	11,06	15,20	16,54
	Máxima	13,21	13,04	16,88	18,87
	Mínima	10,00	10,00	13,58	15,00
	D. E.	0,92	0,88	1,12	1,24
60	Media	12,72	11,47	16,41	18,22
	Máxima	15,00	13,13	18,52	20,63
	Mínima	11,25	9,88	14,82	15,43
	D. E.	1,24	1,04	1,16	1,49
80	Media	10,94	10,51	15,06	17,87
	Máxima	13,67	12,88	18,63	21,38
	Mínima	8,13	8,08	11,25	14,91
	D. E.	1,44	1,58	2,12	1,59
100	Media	12,96	10,83	17,14	17,54
	Máxima	14,63	15,43	18,90	19,76
	Mínima	11,66	6,59	13,58	14,79
	D. E.	0,94	2,16	1,34	1,76

D.E. = Desviación Estándar

El efecto del aserrín se debe a que estas partículas tienen un espesor mayor y sufren una deformación en el momento del prensado, la que se libera cuando el tratamiento de inmersión es prolongado. Este efecto concuerda con los resultados de varios autores (Brumbaugh, 1960; Post, 1958; Jorgensen y Odell, 1961).

Lo anterior se corroboró por el comportamiento de la variable densidad. En el caso de los tableros de menor densidad el material se encuentra menos compactado y por lo tanto sus partículas sufren una menor deformación. Cuando ellas recuperan su forma original el cambio del espesor es menor. No se descarta la posibilidad que este efecto retardado del agua esté también regulado por su efecto sobre el adhesivo: A medida que éste se degrada la acción del agua sobre la madera intensificaría el hinchamiento.

#### Absorción de Agua a las 2 y 24 Horas

Los resultados obtenidos para la absorción a las 2 y 24 horas se presentan en el Cuadro N° 4. Para el caso de la absorción de agua no existen normas DIN o ASTM que fijen un límite máximo.



Cuadro Nº 4  
 ABSORCIÓN DE AGUA

Aserrín (%)		Absorción 2 h (%)		Absorción 24 h (%)	
		Den. 570	Den. 660	Den. 570	Den. 660
0	Media	<b>82,48</b>	<b>61,80</b>	<b>101,79</b>	<b>80,74</b>
	Máxima	95,79	76,38	118,34	95,50
	Minima	57,85	38,59	74,96	66,62
	D. E.:	10,27	11,71	11,81	9,09
20	Media	<b>88,30</b>	<b>62,42</b>	<b>108,12</b>	<b>81,71</b>
	Máxima	110,66	78,88	127,71	92,90
	Minima	66,77	53,69	85,56	71,31
	D. E.:	13,44	9,13	12,42	7,43
40	Media	72,82	58,76	97,11	82,73
	Máxima	88,00	70,44	117,44	96,45
	Minima	58,08	46,55	83,63	69,23
	D. E.:	9,34	7,44	9,23	7,86
60	Media	<b>90,19</b>	<b>57,25</b>	<b>106,57</b>	<b>81,31</b>
	Máxima	118,20	75,88	125,44	98,07
	Minima	73,94	47,56	91,95	69,58
	D. E.:	12,05	9,45	8,60	8,09
80	Media	<b>81,13</b>	<b>57,25</b>	<b>106,57</b>	<b>84,70</b>
	Máxima	96,60	69,87	134,89	98,38
	Minima	65,61	42,51	91,86	78,02
	D. E.:	10,96	9,42	11,08	6,34
100	Media	<b>89,10</b>	<b>63,71</b>	<b>111,62</b>	<b>92,51</b>
	Máxima	108,64	82,56	128,27	112,18
	Minima	72,99	44,31	99,05	80,79
	D. E.:	11,29	12,88	8,13	8,79

D.E. = Desviación Estándar

Al realizar el análisis de varianza para el tratamiento a 2 horas, se determinó que existen diferencias significativas y que estas se deben a la densidad. El aumento de ésta determina una disminución de la absorción. Esto puede explicarse por la presencia de una menor porosidad del material como consecuencia de una mayor compresión.

En el ensayo de inmersión durante 24 horas se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos. En este caso apareció como predictor de dicha variación el porcentaje de aserrín pero con una menor relevancia que la densidad. El aserrín actuó aumentando la absorción de agua. Esto posiblemente se deba a la geometría del aserrín con una mayor superficie específica y, por consecuencia, una menor cantidad de adhesivo disponible por superficie. Lo anterior determinaría una mayor facilidad del material para absorber agua.

Los resultados de la absorción de agua reafirmaron lo determinado en los ensayos de hinchamiento a las 2 y 24 horas: el agua necesitó actuar por un tiempo prolongado para que el efecto del aserrín sea detectable.

## Propiedades Mecánicas de los Tableros

### Tracción Perpendicular al Plano

Esta propiedad mecánica es un indicador de la calidad de la unión entre las partículas de la capa media (Gatchell et al. 1966).

Los resultados de resistencia a la tracción perpendicular al plano se presentan en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5  
TRACCIÓN PERPENDICULAR (N/mm<sup>2</sup>)

Aserrín (%)	Densidad 570 kg/m <sup>3</sup>				Densidad 660 kg/m <sup>3</sup>			
	Media	Máxima	Mínima	D. E.	Media	Máxima	Mínima	D. E.
0	0,719	0,894	0,612	0,076	0,897	1,079	0,734	0,105
20	0,562	0,757	0,337	0,114	1,031	1,165	0,879	0,087
40	0,714	1,247	0,498	0,134	1,059	1,279	0,647	0,169
60	0,902	1,220	0,600	0,120	1,118	1,436	0,828	0,141
80	0,873	1,208	0,161	0,203	1,192	1,432	0,957	0,127
100	0,936	1,157	0,632	0,121	1,358	1,577	1,020	0,158

D.E.: Desviación estándar

La norma DIN establece un valor mínimo de 0,35 N/mm<sup>2</sup>, valor que fue superado por los promedios de todos los tratamientos.

Al realizar el análisis de varianza entre tratamientos con un nivel de significación del 5 %, se comprobó que existen diferencias significativas entre los mismos.

Al probar modelos de regresión, con aserrín y densidad como variables independientes, se determinó que ambas aportan al coeficiente de regresión, aunque el efecto de la densidad es mayor. La variable densidad aporta 80 % del valor de  $r$  y  $r^2$ .

El modelo que mejor ajustó en este caso fue el siguiente:

$$R_t = -1,608 + 0,004As + 0,004Den$$

$$r = 0,81$$

$$r^2 = 0,66$$

Donde:

$R_t$  = Resistencia a la tracción (N/mm<sup>2</sup>)

$As$  = Contenido de aserrín (%)

$Den$  = Densidad de los tableros en (kg/m<sup>3</sup>)

La dependencia de la resistencia a la tracción de la densidad y del contenido de aserrín es similar a la encontrada por otros autores (Brumbaugh, 1960; Gatchell et al., 1966; Poblete, 1979).

#### Flexión Estática (MOR y MOE)

Los resultados obtenidos para los distintos tratamientos en módulo de ruptura se presentan en el Cuadro N° 6.

Al realizar un análisis de varianza, con un nivel de significación del 5 %, se comprobó que en ambas propiedades existen diferencias significativas entre los tratamientos.

En el caso del módulo de ruptura el análisis paso a paso comprobó que el contenido de aserrín es la variable predictora de mayor importancia aportando aproximadamente un 80 % de "r".

Cuadro N° 6  
 FLEXION (N/mm<sup>2</sup>) (MOR Y MOE)

Propiedad	Aserrín (%)	Densidad 570 kg/m <sup>3</sup>				Densidad 660 kg/m <sup>3</sup>			
		Media	Máxima	Minima	D. E.	Media	Máxima	Minima	D. E.
MOR	0	17,595	22,650	14,630	2,583	23,059	27,910	17,950	2,972
	20	17,424	24,970	12,690	3,379	23,459	27,100	16,570	3,037
	40	14,043	17,070	9,520	2,087	19,759	23,180	16,260	2,384
	60	13,275	19,520	9,340	2,844	19,031	24,060	13,850	3,161
	80	11,613	15,130	6,330	2,156	16,551	21,930	12,340	2,479
	100	9,504	11,680	7,090	1,375	13,704	17,140	11,320	1,469
MOE	0	1,885	2,301	1,620	221	2,426	2,760	1,836	258
	20	2,066	2,695	1,516	353	2,474	2,780	1,920	241
	40	1,686	2,090	1,356	197	2,380	2,701	1,970	236
	60	1,605	2,371	1,204	314	2,295	2,701	1,906	282
	80	1,445	1,822	819	249	2,070	2,472	1,607	241
	100	1,198	1,514	879	185	1,626	2,095	1,290	213

D.E.: Desviación estándar

La ecuación de la regresión para el módulo de ruptura (MOR) fue la siguiente:

$$MOR = -17,445 - 0,091As + 0,063Den$$

$$r = 0,845$$

$$r^2 = 0,713$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>)

As = Aserrín (%)

Den = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Los valores de módulo de ruptura dieron, como se esperaba, una alta correlación con ambas variables estudiadas.

En el caso del módulo de elasticidad al probar distintos modelos de regresión se obtuvo el siguiente modelo:

$$MOE = -1.576,613 - 7,984 As + 3,816 Den$$

$$r = 0,814$$

$$r^2 = 0,663$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad (N/mm<sup>2</sup>)

As = Aserrín (%)

Den = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

El análisis estadístico de los valores del módulo de elasticidad comprobó que la densidad del tablero es la variable predictora de mayor importancia aportando un valor de 0,599 de "r", mientras que el porcentaje de aserrín aportó el 0,215 restante.

En el caso de la resistencia a la flexión, tanto en su módulo de ruptura como de elasticidad, se trata de una propiedad que refleja el estado de calidad de las capas superficiales. En este sentido resulta especialmente importante, ya que en el presente estudio se incorporó aserrín en las capas externas.

La norma establece como exigencia una resistencia a la flexión (MOR) mínima de 16 N/mm<sup>2</sup>. Con esta restricción los tratamientos de densidad de 570 kg/m<sup>3</sup> admiten hasta un 20 % de aserrín, mientras que aquellos con densidades de 655 kg/m<sup>3</sup> admiten hasta un 80 % de aserrín.

El módulo de elasticidad exigido por DIN 68 763 debe estar entre 1900 y 2800 N/mm<sup>2</sup>, lo que exigiría que los tableros sean fabricados con densidades mayores a 570 kg/m<sup>3</sup> y con contenidos máximos de aserrín de 80 %.

Las resistencias obtenidas fueron iguales o mayores a las registradas por otros autores (Klauditz y Buro, 1962; Poblete, 1979). Es posible que ello se deba a que se contempló una exhaustiva clasificación de las partículas, a que los tableros fueron confeccionados de tres capas, y a que hubo una asignación de adhesivo mayor para las capas externas.

El contenido de aserrín actuó negativamente con respecto a esta propiedad mecánica. La reducción de esta propiedad se debe a las características geométricas de las partículas de aserrín. Estas presentaban una mayor superficie específica y por lo tanto quedó una menor cantidad de adhesivo disponible para el encolado. Debe tenerse presente que además de lo anterior parte del aserrín adoptó una posición vertical, con las fibras perpendiculares a la superficie del tablero, lo que redujo la resistencia.

Es interesante destacar que esta es la única propiedad en que el aserrín tuvo mayor importancia que la densidad como variable predictora. Esto tiene importancia ya que aún aumentando la densidad del tablero, el agregar aserrín va a generar tableros con una resistencia a la flexión estática menor.

#### Dureza Janka

La determinación de esta propiedad resulta especialmente importante ya que no existen antecedentes de otros trabajos que la incluyan. Esta propiedad, medida normalmente en madera sólida, debiera verse afectada por la densidad de las zonas más superficiales del material en ensayo, y refleja en parte el estado de calidad de las capas externas del tablero.

El análisis de varianza, para un nivel de significación del 5 %, demostró que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Los resultados de Dureza Janka para los diferentes tratamientos se presentan a continuación en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7.  
DUREZA JANKA (N)

Aserrín (%)	Densidad 570 kg/m <sup>3</sup>				Densidad 660 kg/m <sup>3</sup>			
	Media	Máxima	Minima	D. E.	Media	Máxima	Minima	D. E.
0	<b>2.825,6</b>	3.515.7	2.211.4	365.8	<b>3.995,4</b>	4.339.4	3.040,1	389,1
20	<b>2.363,8</b>	3.339.2	1.618.1	502.0	<b>3.643,6</b>	4.496.3	2.706.6	483,2
40	<b>2.741,4</b>	3.295.0	2.088.8	397.0	<b>3.658,3</b>	4.437.5	3.005.7	463,6
60	<b>2.487,6</b>	3.192.1	1.539.6	449.0	<b>3.578,6</b>	4.187.4	2.853.7	470,8
80	<b>2.656,8</b>	4.712.1	1.657.3	732.8	<b>3.550,4</b>	4.177.6	2.716.4	490,9
100	<b>2.338,1</b>	2.814.5	1.887.8	315.3	<b>3.161,0</b>	3.711.8	2.549.7	366,9

D.E.: Desviación estándar

Al probar el ajuste de los valores a un modelo de regresión se determinó la siguiente ecuación:

$$D.J. = -3.265,668 - 4,164 AS + 11,017 Den$$

$$r = 0,995$$

$$r^2 = 0,912$$

Donde:

*D.J.* = Dureza Janka (N)

*As* = Aserrín (%)

*Den* = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Los análisis estadísticos determinaron que la densidad aportó a "r" 0,934, mientras que el aserrín aportó el 0,021 restante.

Los resultados del ensayo demostraron que esta propiedad está altamente correlacionada con el contenido de aserrín y con la densidad de los tableros. En general a mayor cantidad de aserrín menor dureza y a mayor densidad mayor dureza. Un aumento de la densidad, de 570 kg/m<sup>3</sup> a 660 kg/m<sup>3</sup>, aumentó la dureza entre 34 % y 54 %. El efecto del aserrín no fue claro con un nivel de densidad de 570 kg/m<sup>3</sup>. Con una densidad de 660 kg/m<sup>3</sup> el aumento del contenido de aserrín de 0 a 100 % provocó una disminución de la dureza de un 21 %.

La explicación para la pérdida de dureza por la inclusión de aserrín puede encontrarse en el mayor contenido de corteza presente en esta fracción y la menor efectividad del adhesivo por la mayor superficie específica de este material.

Esta propiedad afecta a una serie de usos finales que pueden darse al tablero. En términos generales la dureza es un indicador de la calidad del tablero para efectuar recubrimientos superficiales.

#### Flexión Dinámica (Impacto)

Los resultados del ensayo de Flexión Dinámica (Impacto) se presentan en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8:  
FLEXIÓN DINÁMICA, IMPACTO (kJoule/m<sup>2</sup>)

Aserrín (%)	Densidad 570 kg/m <sup>3</sup>				Densidad 660 kg/m <sup>3</sup>			
	Media	Máxim a	Mínima	D. E.	Media	Máxima	Mínima	D. E.
0	7,585	9,10	5,14	1,490	9,596	12,10	8,10	1,407
20	6,940	9,19	5,92	1,173	9,083	12,17	9,97	1,468
40	5,715	7,08	5,06	0,745	7,261	8,20	6,07	0,838
60	4,428	5,09	4,02	0,530	5,959	7,10	4,05	1,006
80	3,515	4,07	2,98	0,559	4,814	6,09	4,02	0,719
100	2,986	3,03	2,92	0,034	4,136	4,90	2,90	0,689

D.E.: Desviación estándar

El análisis de varianza por tratamiento, para un nivel de significación del 5 %, demostró que existen diferencias significativas.

El modelo de regresión que mejor se ajustó a las variables estudiadas es:

$$R_i = 2,911 - 0,055 AS + 0,014 Den$$

$$r = 0,902$$

$$r^2 = 0,814$$

Donde:

$R_i$  = Resistencia al impacto (kJoule/m<sup>2</sup>)

$AS$  = Aserrín (%)

$Den$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Al realizar el estudio paso a paso se determinó que la densidad aportó al valor de "r" 0,827, mientras que el aserrín contribuyó con el 0,075 restante.

Los análisis estadísticos determinaron que el aserrín se correlaciona inversamente con la flexión dinámica; la densidad actúa en forma positiva.

El efecto del aserrín fue el esperado, ya que por sus características y geometría opuso una menor resistencia. Partículas más pequeñas en longitud y con una menor cantidad específica de adhesivo fueron más débiles ante el efecto del impacto. Al mismo tiempo, el aumentar la densidad se tradujo en una mayor resistencia al golpe del péndulo.

La flexión dinámica no ha sido estudiada en tableros con aserrín, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo permiten conocer la tendencia del efecto de

incorporar partículas con coeficientes de esbeltez bajos (menores a 10) sobre esta propiedad.

Teniendo en cuenta que los tableros con 100 % de aserrín presentaron una resistencia del orden del 40 % del valor obtenido en tableros sin aserrín, en aquellos usos donde se requieran valores altos de flexión dinámica se deberá evitar la inclusión de aserrín.

## CONCLUSIONES

El análisis de pH y densidad de las partículas y del aserrín demostró que no existen en estos aspectos diferencias entre ambos materiales. La diferencia entre aserrín y partículas se presentó en su geometría y en el mayor contenido de corteza del primero. Por esta razón a medida que aumentó el contenido de aserrín aparecieron coloraciones más oscuras en las caras.

El análisis del perfil de densidad demostró que no existen diferencias por la inclusión de aserrín.

El efecto del aserrín sobre las propiedades físicas fue en general poco significativo, teniendo éstas una mayor relación con la variable densidad del tablero.

El hinchamiento a 2 horas sólo se vio afectado por la variable densidad, disminuyendo con incrementos de ésta. La misma propiedad a 24 horas se vio afectada por el aserrín y la densidad. Al permanecer en agua por un tiempo prolongado se rompió la unión entre las partículas y se liberó el material comprimido, por lo que al aumentar la densidad aumentó el hinchamiento. Por los valores obtenidos, la inclusión de un hidrófobo resulta indispensable.

La absorción de agua a 2 horas sólo mostró dependencia con la variable densidad. Aumentos de la densidad provocaron una disminución de la absorción, como consecuencia de una menor cantidad de espacio poroso. Con una inmersión por 24 horas aparecieron ambas variables afectando la absorción. Mientras el aserrín actuó incrementándola, la densidad actuó disminuyendo dicha variable.

La inclusión de aserrín afectó todas las propiedades mecánicas. Estas se vieron afectadas negativamente por el agregado de este material, salvo en el caso de la propiedad de Tracción perpendicular.

La propiedad limitante para la inclusión de aserrín resultó ser la flexión estática. Este ensayo fue el único en el que la incorporación de aserrín tuvo un efecto más importante que el aumento de la densidad. Mientras la inclusión de aserrín disminuyó esta propiedad, el aumento de densidad la incrementó. Los valores obtenidos permitieron cumplir con las exigencias de la norma DIN admitiendo hasta 20 % de aserrín para el caso de densidad  $570 \text{ kg/m}^3$  y hasta 80 % con densidad  $660 \text{ kg/m}^3$ .



La resistencia a la tracción aumentó con incrementos de la densidad y el contenido de aserrín. Todos los tableros cumplieron con las exigencias de DIN 68 763

La dureza Janka y la flexión dinámica (impacto) son propiedades no determinadas en estudios anteriores. En ambos casos resultó favorable aumentar la densidad y desfavorable la inclusión de aserrín.

## BIBLIOGRAFIA

- Berterreche, A., 1994.** Efecto de la Inclusión de Aserrín Proveniente de Sierra Huincha en Algunas Propiedades Fisico-mecánicas de Tableros de Partículas Fabricados con *Pinus radiata* D. Don. U. Austral de Chile. Tesis para optar al título de Magister en Cs. Forestales. 80 pp.
- Bhagwat, S.G., 1971.** Physical and Mechanical Variations in Cottonwood and Hickory Flake Boards Made from Flakes of Three Sizes. *Forest Product Journal* 21 (9): 101-103.
- Brumbaugh, J.I., 1960.** Effect of Flakes Dimensions on Properties of Particle Boards. *Forest Product Journal* 10 (5):243-246.
- Gatchell, C.; Heebink, B; Hefty, C., 1966.** Influence of Component Variables on Properties of Particleboard for Exterior Use. *Forest Products Journal* 16(4):46-59.
- Gerischer, G., 1977.** Structural Particleboard from Waste Materials. *Holzforschung* 31 (4): 129-133.
- Gillwald, W., 1965.** Zur Problematik der Herstellung von Spanplatten aus Abfallspänen. *Holztechnologie* 6 (1): 27-36.
- Jensen, U., 1978.** Einsatz Aufbereiteter Gattersägespänen in der Deckschicht von Möbelspanplatten. *Holztechnologie* 19 (4): 220-223.
- Jorgensen, R.N.; Odell, R.L., 1961.** Dimensional Stability of Oak Flake Board as Affected by Particle Geometry and Resin Spread. *Forest Product Journal* 11(10): 463-466.
- Klauditz, W; Buro, A., 1962.** Die Eignung von Sägespänen zur Herstellung von Holzspanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 20:19-26.
- Kusian, R., 1966.** Über den Einfluss der Spanform und-grösse auf die Eigenschaften von Sägespäneplatten. *Holztechnologie* 7 (1): 34-40
- Poblete, H., 1979.** Inclusión de Aserrín en Tableros de Partículas. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. *Bosque* 3 (1): 39-46.
- Poblete, H., 1985.** Influencia del Tamaño de Partícula sobre las Propiedades Mecánicas Flexión y Tracción en Tableros de Partículas Aglomerados con Ureaformaldehído. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. In *Pinus radiata Investigación en Chile*. pp. 241-256.
- Poblete, H.; Sanchez, J.P., 1991.** Tableros con Corteza de *Pinus radiata*. *BOSQUE* 12 (1): 17-26.
- Post, P.W., 1958.** The Effect of Particle Geometry and Resin Content on Bending Strength of Oak Fake Board. *Forest Product Journal* 8 (10):317-322.

# INVESTIGACIONES PARA EL TRATAMIENTO SILVICOLA Y MANEJO DE RENOVALES DE *Nothofagus* EN LA ZONA CENTRO DE CHILE<sup>1</sup>

BERNARDO AVILÉS

Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Concepción, Dr. Wolframstr 5, Wttrzburg, Alemania

## RESUMEN

*En renovales de Nothofagus ubicados en la precordillera andina de la IX Región se prueban y evalúan intervenciones de raleo selectivo en rodales coetáneos, bietáneos y multietáneos, originados en diferentes tipos e intensidades de utilización anterior.*

*Se aplican raleos selectivos y se seleccionan árboles de cosecha, se evalúan los resultados económicamente y se concluye que el uso de métodos silvícolas adecuados y la maximización de la calidad y utilización de la madera, con el apoyo de normas de clasificación, son prácticas que pueden resultar exitosas en renovales de diferentes estructuras.*

*Palabras Clave: Silvicultura, Renovales, Nothofagus*

## ABSTRACT

*In second growth Nothofagus forests, located near the Andean Ranges of the IX Región of the country, selective thinnings are tried in stands of even age, two equal ages and multiple ages, originated in different types of previous utilization.*

*Cuts are applied and trees to harvest are selected. Results are economically evaluated and it is concluded that adequated silvicultural techniques to maximice the wood quality and utilization, with the help of clasification norms, can be succesfully used under different structured stands.*

*Keywords: Silviculture, Second Growth Forests, Nothofagus*

<sup>1</sup> Investigación dirigida por el Profesor, Dr. Jürgen Huss, Director del Instituto de Silvicultura de la Universidad de Freiburg, 79085 Freiburg, Alemania.

## INTRODUCCION

Renovales son bosques secundarios que se originaron de la explotación selectiva, talas rasas y roces a fuego de los bosques primarios mediante regeneración natural por semillas o por tocones. Estos renovales se encuentran especialmente entre la VII región (35° latitud sur) y la X región (41° latitud sur), tanto en la precordillera de los Andes como en la cordillera de la Costa (Puente et. al., 1981; Donoso, 1981). Su edad es variable y es posible encontrar rodales con edades entre 20 y 100 años, especialmente de las especies *Nothofagus alpina*, *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus dombeyi*. La superficie que ocupan estos renovales no ha sido determinada. Sin embargo, se cree que se trataría de unas 600.000 ha (De Camino et. al., 1974; Yoma, 1984; Ulloa, 1984). Las dificultades para determinar la superficie potencial de renovales se debe fundamentalmente a las diferentes definiciones existentes del termino "Renoval", en muchos casos subjetivas y que no definen su potencial (INFOR, 1967; Reglamento 2565/DL. 701, 1979; Donoso, 1981), y a la inexistencia de inventarios y catastros de éste recurso.

En los últimos años se han mejorado notablemente las posibilidades de utilización y comercialización de las especies que componen los bosques de renovales. La demanda por estos productos ha ocasionado que los propietarios forestales tiendan a una utilización rápida de éste recurso con el fin de obtener altos beneficios económicos en el corto plazo y que se contraponen a las necesidades sociales, que se caracterizan por favorecer la mantención y acrecentamiento del recurso prefiriendo largas rotaciones. Esta utilización ha tenido la característica de explotaciones a tala rasa, sucesivas, o bien a cortas selectivas que reducen el valor del bosque en algunos años y destruyen los beneficios ambientales producidos por el éste, como son la protección de los cursos de agua y del suelo, además, del hábitat para la fauna y la flora nativa, en algunos casos única y de gran valor para Chile.

## OBJETIVOS

El objetivo de ésta investigación es mostrar modelos conceptuales de como los renovales de *Nothofagus* en forma planificada y sostenida pueden ser transformados en bosques comerciales de alta productividad, sin alterar sus funciones ecológicas. Para ello se han considerado los aspectos silvícolas, de la calidad de la madera y sus usos y los aspectos económicos, en general. Mediante la transformación de estos bosques se intenta modificar la estructura del rodal en tal magnitud que sea posible la producción de madera de alta calidad. Los resultados de ésta investigación deben además, entregar conclusiones respecto de las posibilidades de clasificación de estos renovales, de la posibilidad de practicar raleos selectivos, con definición de árboles cosecha, y mostrar y verificar la aptitud maderera de las especies *N. alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi* para

la producción de madera de alta calidad y valor comercial. Finalmente, se espera obtener resultados de carácter monetario en forma de modelos realizables, con los cuales se pretendió hacer un aporte al estudio de los bosques de renovales en Chile.

## ÁREA DE ESTUDIO

Las investigaciones se realizaron en la Hacienda Jauja, Provincia de Malleco en la IX Región, perteneciente a la Empresa Forestal Mininco S.A.

El área investigada se caracteriza por tener un clima mediterráneo con abundante precipitación en las estaciones de otoño e invierno y periodos secos en verano. La humedad relativa del aire, con valores cercanos al 70%, favorece el crecimiento de bosques en la zona. El suelo en su mayor proporción corresponde a depositaciones de cenizas de origen volcánico. Estos suelos son característicos en la zona central de Chile y son denominados "Trumaos". Ellos constituyen los suelos de mayor potencial para la producción. En general, son suelos profundos y de estructura relativamente suelta, sin embargo, presentan tendencia a la compactación. Su fertilidad es alta, poseen un alto porcentaje de materia orgánica, alta capacidad de almacenamiento de agua y un pH entre 5 y 6; el fósforo es fijado en una alta proporción.

## METODOLOGÍA

### Clasificación de los Rodales Investigados

La comprobación de las clasificaciones de renovales existentes mostró que estos tienen una distribución espacial irregular y que no es posible llegar a una caracterización y estratificación mediante área basal, número de árboles por hectárea y diámetro promedio. Las formas de clasificación utilizadas no aportan la información base necesaria para establecer intervenciones silvícolas con el fin de una producción de madera de alta calidad, en forma sostenida y permanente (Herrera y May, 1975, 1976; Wadsworth, 1976; Puente et. al., 1979; Donoso, 1981; Nuñez y Peñaloza, 1985; Espinosa, 1990; Pokorny, 1991). El resultado de la estratificación realizada en base a fotointerpretación, control de terreno y muestreo de rodales modales permite identificar tres tipos de rodales básicos: Coetáneos, Bietáneos y Multietáneos. Estos tipos característicos tienen su origen en el uso al que fueron sujetos en el pasado, entre los cuales se distinguen:

- Uso por Superficie: Durante la colonización europea se explotaron bosques para habilitar terrenos para la agricultura y la ganadería. En muchos casos y debido a la productividad del suelo, muchas de estas áreas fueron abandonadas, lo que más adelante generó bosques homogéneos provenientes de regeneración vegetativa y de semillas. Una parte de los rodales investigados fue raleada por lo bajo con diferente intensidad, de modo que fue posible reconocer dos formas:

Rodales raleados compuestos principalmente por la especie *N. alpina*. Debido a las intervenciones silvícolas no existen otros estratos. En general, el desarrollo de copas es limitado debido a la fuerte competencia entre individuos a ese nivel. La distribución diamétrica muestra una gran dispersión, en donde los individuos de mayor diámetro se caracterizan por tener mala forma y abundantes ramas.

Rodales no intervenidos que se sometieron a uso por superficie, presentan dos estratos bien marcados y se caracterizan por ser más jóvenes. La especie de mayor abundancia es *N. alpina*, la que está representada por árboles de buena calidad aptos para la producción de madera de buen valor.

- Uso Selectivo: El uso selectivo, en el cual se extrajeron sólo maderas valiosas, condujo a estos rodales a una marcada estructura de estratos. Desde el comienzo de la colonización española en Chile ha sido relevante este tipo de uso, en donde se extraen los mejores individuos en calidad maderera, mientras que aquellos de mala forma y sin valor comercial permanecen en el bosque y posteriormente alcanzan los estratos superiores. Los árboles, resultado de este tipo de intervención, muestran en general copas grandes, curvaturas de fuste y abundancia de ramas. Los claros generados por la explotación sirvieron para el establecimiento de otras especies, diferentes de *Nothofagus*, que ocupan parte del segundo estrato. El tercer estrato se compone, especialmente, de la especie *N. alpina*, proveniente de regeneración natural de tocones y de semillas. En rodales sujetos a este tipo de uso resulta típica una estructura de mosaico y una distribución espacial de bosquetes homogéneos de diferente tamaño y forma. Además, es característico que estos bosques presentan árboles de gran tamaño, sobremaduros y enfermos, árboles solitarios de buen crecimiento y calidad maderera y grupos de regeneración natural.

### Raleo Selectivo y Selección De Árboles Cosecha

Burschel y Huss (1987) aseguran que: "...junto al raleo selectivo se debe intervenir, fuertemente, y liberar en lo posible aquellos árboles del estrato dominante, de mayor vitalidad, mejores características cualitativas y mayor valor comercial o árboles cosecha, los cuales serán fomentados en su desarrollo. En las intervenciones siguientes se debe intervenir a nivel de copas, aclareos para el crecimiento de la luz, con lo que se logrará la expansión y formación de la copa, que posteriormente inducirá un aumento en el crecimiento en diámetro. En los estratos suprimidos, medio en algunos casos y suprimido en todos los casos, no se intervendrá, ya que ellos tienen como función la protección del suelo y de los fustes".

En Chile, en forma tradicional a partir de 1960, se han realizado raleos por lo bajo y sus variantes más conservadoras para la intervención de los bosques de renovales (Rocuant, 1969; Puente y Herrera, 1978; Puente, 1979, 1983; Puente et al., 1981; Nuñez y Peñaloza, 1985). Las experiencias realizadas, según la documentación

existente, no han considerado otras variantes, como raleos por lo alto, selectivos con y sin marcación de árboles cosecha y aclareos para promover el crecimiento de luz. Excepciones son los trabajos de Grosse (1990) y Csapek (1992), que han probado algunas de éstas variantes.

El procedimiento raleos selectivos y selección de árboles cosecha, fue elegido debido a que ha sido extensamente reconocido en Europa Central para la producción de madera de alta calidad, como una alternativa viable a desarrollar en bosques naturales (Schädelin, 1942; Assmann, 1961; Leibundgut, 1966; Altherr, 1974; Abetz, 1979; Köpsell, 1983; Burschel y Huss, 1987). El número de árboles cosecha se calculó en base a el área basal máxima potencial que es posible encontrar en un renoval puro compuesto especialmente de *N. alpina*; este procedimiento fue desarrollado por Abetz (1979) como una forma de obtener lineamientos generales para las intervenciones silvícolas en *Fagus sylvatica*. Para rodales con un área basal entre 35 y 50 m<sup>2</sup>/ha y un diámetro objetivo a la cosecha de 60 cm, son necesarios entre 125 y 200 árboles cosecha/ha. El diámetro objetivo se consideró debido a la posibilidad de obtener el mayor rendimiento económico del bosque, al aumento creciente de los rendimientos en la transformación mecánica y a la alternativa de competir con maderas tropicales de África y Asia y latifoliadas europeas.

De los raleos realizados en los tres tipos de renovales intervenidos se resumen los siguientes resultados:

En los rodales coetáneos (rodales adultos homogéneos) la selección de árboles cosecha no presenta problemas de carácter técnico. Es posible encontrar una cantidad considerable de árboles bien formados, que presentan excelentes características de fuste. Una gran ventaja que se presenta en este tipo de rodales es que a través de la intervención se benefician otros individuos, que no necesariamente formaran parte del rodal final, pero que aumentaran considerablemente el volumen de las cortas intermedias, aumentando el rendimiento final del sitio. Sin embargo, en aquellos rodales que fueron raleados en años anteriores y en donde se eliminaron completamente los estratos secundarios, existe la posibilidad de que a causa del raleo se produzcan epicormios que tendrán como resultado una pérdida en la calidad de la madera.

En rodales bietáneos (rodales de dos estratos, jóvenes y homogéneos) fue posible encontrar en gran cantidad árboles con buenas características. La selección no presenta dificultades. Sin embargo, parece ser demasiado temprano para realizar una selección definitiva de árboles cosecha. En estos rodales y debido a su edad, cerca de 30 años, existen las mejores posibilidades de producir madera de calidad en el corto plazo ya que se espera una rápida respuesta a la intervención. En este caso se intervino solo alrededor del árbol, eliminando los competidores directos. Otros raleos serán necesarios en los próximos años, en los cuales se deberá seleccionar en forma definitiva los árboles cosecha. La selección posterior y los raleos deberán ser orientados a mantener el crecimiento y calidad de estos árboles.

En rodales multietáneos (rodales con más de tres estratos heterogéneos y provenientes de uso selectivo) la selección de árboles cosecha resulta técnicamente muy difícil. En estos rodales no es posible formular en primera instancia, en forma clara y definitiva, un concepto de tratamiento silvícola. La forma de mosaico que presentan estos rodales, en los cuales es posible reconocer más de una estructura, que generalmente presenta agrupaciones de árboles de diferentes especies, tamaños, calidades y dominancia, no permite aplicar un concepto que lleve a la homogeneidad de los rodales y a la intervención por superficie. Parece adecuado en este caso, en primer lugar la eliminación de los árboles dominantes pertenecientes a la especie *N. dombeyi*, que se caracterizan por su gran tamaño y reducida calidad. La segunda etapa deberá considerar la realización de raleos frecuentes destinados a liberar los árboles de buena forma y crecimiento que se encuentran creciendo bajo las copas de estos árboles sobremaduros y que en algunos casos se encuentra prácticamente suprimidos. Finalmente, será necesario en estos rodales realizar más de una actividad silvícola, i.e. raleo, selección, liberación de árboles, regeneración de especies económicamente atractivas como es el caso de *N. alpina*. La flexibilidad y el buen criterio en el tratamiento a realizar son la base del éxito en la transformación de este tipo, que es abundante y generalizado en la zona de estudio.

### Calidad de Árboles en Pie

La determinación de la calidad en pie y en trozas es fundamental para tomar decisiones silvícolas; la selección de rodales, la selección de árboles de cosecha, la comercialización de madera y otras actividades exigen un conocimiento pleno de la calidad.

Sin embargo, se debe considerar que la estimación de la calidad, especialmente en árboles jóvenes, es difícil y sujeta a error por las modificaciones de la calidad a través del tiempo Arnswalt (1950), Schulz (1958, 1959, 1961).

En esta parte se investigó si los árboles seleccionados son aptos para la producción de madera de alto valor comercial. La caracterización y evaluación de los árboles en pie resultó ser muy difícil de evaluar en términos estadísticos, especialmente debido a la alta variabilidad y dispersión de las variables analizadas, muchas de las cuales son generadas por los factores ecológicos y el ambiente generado en cada rodal. Sin embargo, desde el punto de vista visual, la caracterización es una ayuda para la selección de árboles, así como para la ejecución de los raleos es una herramienta de gran valor que debe ser positivamente valorada y utilizada.

El análisis de las características de la corteza no entregó diferencias significativas en relación a la dimensión, entre los rodales tipos. Estas características de la corteza se relacionan con el  $d_{1,3}$ , y no se manifiestan en árboles con  $d_{1,3}$  superior a 30 cm. La selección de los árboles cosecha debe, en todo caso, orientarse de acuerdo a la siguiente serie de características: Ramas secas ubicadas en los primeros 10 m del fuste;

cicatrizaciones de ramas que muestren un proceso lento de recubrimiento, como indicador de pudrición interior; protuberancias, bigotes de chino con ángulos agudos y enfermedades de la corteza.

Los resultados indican que existe una secuencia cronológica en el proceso de cicatrización de ramas; rama verde, rama seca, muñón, protuberancia, bigote de chino. Además, de agallas, rosetas, estrellas y perforaciones varias. Finalmente, se debe destacar que la especie *N. alpina* presenta una gran capacidad y rapidez para la cicatrización, que es independiente de las condiciones ecológicas del rodal, en especial de la cantidad de luz difusa y directa que esta presente en el rodal.

### Calidad de Trozas y Madera Aserrada en Bloques

El objetivo de esta investigación, resumida en dos partes, fue probar y aclarar de acuerdo a métodos establecidos y de validez general en que medida las características de la corteza afectan y caracterizan la calidad de la madera. Además, de probar la aptitud de las especies de *Nothofagus* para producir madera de calidad en una proporción tal que sea posible competir con esta materia prima en mercados internacionales. Las características cualitativas de la madera fueron evaluadas mediante la Norma HKS (Handelsklassensortierung) para madera en trozas y Norma DIN-68369 para madera aserrada en bloques. Las clasificaciones entregaron los siguientes resultados:

#### Clasificación Norma HKS<sup>2</sup>

Las ramas secas bajo 4 m de altura y con diámetro sobre 6 cm son relevante e indicadoras de pudrición. Las grietas, independiente de su forma y tamaño, son relevantes. Se recomienda uso de sellantes o corchetes metálicos. Se recomienda restringir el volteo y trozado a los periodos de otoño e invierno.

Las pudriciones, en trozas, tienen poca frecuencia en las especies *N. alpina* y *N. obliqua*. Mientras, que en *N. dombeyi* estas son muy frecuentes y desvalorizan considerablemente la madera.

La clasificación según HKS, sin considerar grietas, fue de 7% en volumen en clase A 80% en clase B y 13% en clase C. El rendimiento en madera rolliza según HKS fue de 61%. En *N. dombeyi* este valor se reduce a 40% por efecto de pudriciones.

La curvatura no constituye en las especies investigadas un factor cualitativo importante; 95% de los trozos presenta valores menores de 2 cm/m para un valor crítico, según HKS, de 5 cm/m. La heterogeneidad del ancho de los anillos de crecimiento producida por falta de intervención silvícola limita la posibilidad de uso de

<sup>2</sup> Bundesministerium Für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1969): Handelsklassensortierung



la madera para chapa. La duraminización es dependiente del  $d_{1,3}$  y es un factor favorable desde el punto de vista estético. La norma HKS, con modificaciones, puede ser utilizada sin restricción.

### Clasificación DIN-68369

Los resultados indican que el 50% de las piezas aserradas presenta ancho de anillos regular y menor de 1,5 mm. El 60% presenta algún tipo de deformación en donde la arqueadura representa el 80%. El 65% de las piezas presenta duramen y excelente aspecto. La grieta y la acebolladura son importantes para la clasificación y se estima que el 80% de las piezas la presenta. La pudrición café predomina sobre la pudrición blanca, especialmente, en *N. alpina*. El 80% de la pudrición se encuentra en estado inicial.

*N. alpina* no presenta daños por insectos mientras que *N. dombeyi* se encuentra dañada en un 50% de los casos. Además, se encontró que el 15% del daño es superficial y el 80% profundo en el cuerpo de la madera y que abarca el duramen.

*N. alpina* presenta la mayor abundancia de nudos, sin embargo el 75% estaban sanos. Los nudos, en otras especies, son un aspecto secundario para la clasificación.

La clasificación DIN-68369 entregó menos de 20% en la clase I, cerca de 50% en la clase II y menos de 30% en la clase III. La norma es posible de aplicar sin problema en las especies analizadas.

### Crecimiento en Diámetro y Prognosis del Crecimiento

Otro objetivo de la investigación fue analizar algunas variables de crecimiento en la especie *N. alpina*, especialmente el  $d_{1,3}$  y en árboles dominantes, para poder determinar el crecimiento actual y de esa forma proyectar el crecimiento de los árboles cosecha.

La investigación indica que en los árboles seleccionados el crecimiento en diámetro, para una situación sin intervención, oscila entre 0,43 y 0,52 cm/año. Las variaciones en crecimiento presentan coeficientes de variación promedio de hasta 38%. El crecimiento en diámetro se mostró independiente del  $d_{1,3}$ . Una comparación con los resultados de investigaciones existentes no fue posible debido a que el objeto estudiado es diferente; en esta investigación se midió y analizó sólo árboles dominantes en cada estrato.

La prognosis de crecimiento de los árboles cosecha se realizó en base al crecimiento promedio observado en las mediciones, para lo cual fue posible considerar tres alternativas optimista, media y pesimista. El ajuste de funciones de regresión múltiple, en las cuales se consideró el  $d_{1,3}$  y la edad de los árboles, entregó resultados insuficientes para efectuar una proyección confiable. Se observa que a medida que el

diámetro aumenta se produce un aumento mas que proporcional del crecimiento. La inclusión de la edad actúa en forma contraria, es decir a mayor edad menor crecimiento. Sin embargo, en la investigación ya había sido probado que los árboles de *N. alpina*, aún en edad avanzada crecen a tasas similares que árboles jóvenes. Además, y debido a la longevidad de la especie, se cree que esta pueda reaccionar a las intervenciones aún en edades avanzadas; hecho que debe ser probado ya que es de gran importancia para la intervenir.

### Estructura de Costos y Cálculo Monetario

El objetivo de esta parte fue recopilar información básica sobre la estructura y característica de costos que se originan en un primer raleo. Esta información tiene, sin embargo, el carácter de preliminar, ya que un aumento de la escala de operaciones podría influir en forma significativa. Los resultados más importantes se resumen a continuación:

Los costos de selección de árboles cosecha, marcación, construcción de calles de maderero, volteo, trozado, preparación de la madera incluyendo clasificación y transporte a la planta de Nacimiento alcanzaron a 17 US\$/m<sup>3</sup>, para madera en trozas y 19 US\$/m<sup>3</sup> para madera de pulpa y leña. El mayor costo de la producción de madera de pulpa y leña se explica por el arrastre y armado de trozas. Los costos determinados se distribuyen en partes homogéneas respecto del trabajo manual y mecanizado.

Los costos de transporte alcanzaron a un 65% del costo total; el resto de las actividades cubrió el 35%, que se considera bajo. Como se indicó, el costo total puede experimentar variaciones si se aumenta la fuerza de trabajo, el control y la infraestructura. Una compensación del aumento de los costos puede ser alcanzada mediante operaciones de escala, aumento de la eficiencia y control de las inversiones. Si las operaciones abarcan grandes superficies puede aumentar el volumen de madera aprovechable en las clases de mayor valor, aumentando la diferencia entre costo de producción y precio de venta.

El cálculo de los costos límites realizado para el primer tratamiento entregó ganancias de 2.000 US\$/ha en los rodales coetáneos (un estrato), 740 US\$/ha en los rodales Bietáneos (dos estratos) y 1.200 US\$/ha en rodales multietáneos (tres estratos y más).

El precio de venta de la madera de trozas cubre un 60% de los costos de producción y 32% de la madera para pulpa. Los costos de producción de leña no se cubren con el precio de venta y generan un déficit en la preparación de la madera de alrededor de un 36%.

Un cálculo monetario de la producción, es decir sin considerar una tasa de interés alternativa, ya que se parte de la base de que todas las intervenciones se financian, en cada uno de los rodales analizados y al final de la rotación entrega ingresos entre 40.000 y 60.000 US\$/ha.

Estos resultados, provenientes de modelos silviculturales y de clasificación y aprovechamiento de la madera, permiten concluir que el tratamiento silvícola y el manejo de los renovales de *Nothofagus* orientados a la producción de madera de buena calidad es factible podría ser una alternativa viable que conduciría a éxitos en los resultados monetarios y financieros.

## CONCLUSIONES

Como resultado general de este conjunto de investigaciones es posible concluir que la aplicación de métodos silvícolas adecuados y la maximización de la calidad y uso de la madera, apoyadas en normas de clasificación, pueden ser aplicados en bosques de renovales de diferentes estructuras en forma exitosa. En el caso de no ser así, y es probable que en muchos casos ocurra, el manejo de los renovales debería ser enfrentado mediante una subvención estatal, la que debería considerar a lo menos:

Disminuir en el mediano plazo la diferencia entre la valoración privada y estatal de este recurso y así evitar usos del bosque y del suelo que, desde el punto de vista social, no son óptimos,

Que la asignación de recursos sea hecha en forma tal que priorice ubicaciones geográficas, grupos de especies, estructura de bosques y aumente el valor económico de estos, especialmente respecto de las plantaciones. Asimismo se debe tender a valorar y maximizar las externalidades que están siendo producidas por estos bosques,

Finalmente, es una realidad tangible que existe la urgente necesidad de la mantención de los bosques de renovales de *Nothofagus*, debido que desde el punto de vista biológico representan un recurso de alto valor, especialmente si se considera que estos protegen fuentes de agua y mantienen su cantidad y calidad, vital para el crecimiento industrial, y que, además, son hábitat para flora y fauna nativa del país.

## AGRADECIMIENTOS

El Autor agradece al Consejo Alemán de Intercambio Académico (=DAAD) y al Instituto de Silvicultura de la Universidad de Freiburg, Alemania, que hicieron posible la realización de esta investigación. Asimismo agradece a la Empresa Forestal Mininco que puso a disposición los bosques de renovales de la Hacienda Jauja. Un reconocimiento especial al Profesor Dr. Jürgen Huss, por su dedicación y optimismo respecto del tema Renovales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abetz, P., 1979. Zum Konzept einer Z. - Baum - orientierten kontrollmethode. Allgemeine Forstund J. Ztg. 151:65-95.

- Altherr, E., 1974.** Vorschläge für die Durchforstung von Buchenbeständen. (Aus der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden - Württemberg. - Abt. Waldwachstum, Freiburg i.Br.) 19 pp.
- Arnswaldt, H.J.V., 1962.** Wertkontrolle und Betriebswirtschaft. FA. 161 pp.
- Assmann, E., 1961.** Waldertragskunde. München, Bonn, Wien. 491 pp.
- Burschel, P. y J. Huss., 1987.** Grundriss des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Hamburg und Berlin: Parey. 352 pp.
- Corporación Nacional Forestal, 1981.** Reglamento del Decreto Ley 701/1974 sobre Fomento Forestal en Chile. Chile Forestal. Edición Especial. Santiago de Chile.
- Csapek, G., 1991.** Zur Durchforstung von Nothofagussekundärwäldern in Mittelchile. Tesis Forstwissenschaftliche Fakultät Universität Freiburg. 75 pp.
- De Camino, R., Smith, B., Benavides, M., y Rodas, J., 1974.** Los Renovales de Bosque Nativo como Recurso Forestal. Antecedentes para la Discusión del Problema. Instituto de Manejo Forestal y Economía Forestal. UACH. Charlas y Conferencias (2): 19-33.
- Donoso, C., 1981.** Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. FO:DP/CHI/76/003. Santiago de Chile. Documento de Trabajo N°38. 70 pp.
- Espinosa, M., 1990.** Rodalización y Determinación de Opciones de Manejo Silvícola para los Rodales no Manejados de Jauja y Santa Luisa. FORVESA. Chillán-Chile. 81 pp.
- Grosse, H., 1990.** Antecedentes para el Manejo de Renovales de Rauli. Corma (1):16-20.
- Herrera, J. y May, F., 1975.** Proyecto de Raleos en Jauja. FORVESA: Informe N°1 9 S.
- Herrera, J. y May, F., 1976.** Proyecto de Raleos en Jauja. FORVESA: Informe N°2. 15
- Instituto Forestal, 1967.** Clasificación Preliminar del Bosque Nativo en Chile. Informe Técnico N°27. Santiago de Chile. Chile.
- Koepsell, R., 1983.** Charakteristische Kennzifferstrukturen naturgemaesse bewirtschafteter Forstbetriebe. Naturgemaesse Waldwirtschaft. Sonderdruck Forstarchiv (2, 3): 16-22.
- Leibundgut, H., 1966.** Die Waldpflege. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart. 192 pp.
- Núñez, P. y P. Peñaloza, 1985.** Estudio de Raleo y otras Técnicas para el Manejo de los Renovales de Rauli (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*). Informe Convenio 80. Fac. de Cs. For. UACH. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. Santiago de Chile. 109 S.
- Pokorny, B., 1991.** Eignung der von der Baumart *Nothofagus alpina* Geprägten Mittelchilenischen Renovalesbestände für eine Wertholzorientierte Bewirtschaftung. Tesis, Waldbau Institut d. Universität Freiburg. 98 pp.
- Puente, M., 1979.** Control de Raleos en Renovales de Rauli del Fundo Jauja. Industrias Forestales S.A. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 38 pp.

- Puente, M. y Herrera, J., 1978.** Informe Sobre el Raleo de Renovales en el Fundo Jauja. Industrias Forestales S.A. Nacimiento, Chile. 11 pp.
- Puente, M., Donoso, C., Peñaloza, R. y Morales, E., 1979.** Manejo de Renovales de Raulí y Roble Identificación y Caracterización de Renovales de Raulí y Roble. INVESTIGACION Y DESARROLLO FORESTAL: Dcto. de Trabajo N°29. FO: DP/CHI/76/003. Santiago de Chile. 84 S.
- Puente, M., Donoso, C., Peñaloza, R., Paredes, R., Morales, R. y Engdahl, O., 1981.** Estudio de Raleo y otras Técnicas para el Manejo de Renovales de Raulí y Roble. Instalación de Ensayos de Raleo. Investigación y Desarrollo Forestal: Documento de trabajo N°41. FO: DP/CHI/76/003. Santiago de Chile. 74 pp.
- Puente, M., 1983.** Control de Raleos en Renovales de Raulí del Fundo Jauja. Nacimiento, Chile. 29 pp.
- Rocuant, L., 1969.** Raleos en Renovales de Raulí-Roble en la Cordillera de Nahuelbuta. Circular Informativa N°24. Universidad de Concepción. Chillán, Chile. 22 pp.
- Schädelin, W., 1942.** Die Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung. 3. neu durchgearbeitete Auflage. Bern/Leipzig: Verlag Paul Haupt. 174 pp.
- Schulz, H., 1958.** Merkmale überwachsender Hozfehler in der Baumrinde. Holz-Zentralblatt (71): 919-920.
- Schulz, H., 1959.** Güteklassen des Stammholzes und ihre Abgrenzung gegeneinander. Holz-Zentralblatt 85: 753-757.
- Schulz, H., 1961.** Die Beurteilung der Qualitätsentwicklung junger Bäume. Forstarchiv 32: 89-99.
- Speidel, G., 1978.** Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Berlin. Parey. 226 pp.
- Ulloa, F., 1984.** Alcances sobre la Disponibilidad de Bosque Nativo Comercial en Chile. Actas XI Jornadas Forestales. Concepción, Chile. 4: 65-70.
- Wadsworth, R. K., 1976.** Aspectos Ecológicos y Crecimiento del Raulí y sus Asociados en Bosques de Segundo Crecimiento en las Provincias de Bio-Bio, Malleco y Cautin, Chile. Boletín Técnico N°37. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago de Chile, 47 pp.
- Yoma, R., 1984.** Ideas Preliminares para un Proyecto de Bonificación por Manejo de Renovales y por Enriquecimiento del Bosque Nativo. Actas XI Jornadas Forestales. Concepción, Chile. pp 38-41.

**EDAD ÓPTIMA DE COSECHA. UNA DISCUSIÓN EN TORNO AL VALOR PRESENTE NETO (VAN) Y LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).** Iván Chacón Contreras. Ingeniero Forestal. Profesor Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca. Casilla 721, Talca, Chile.

**RESUMEN**

*Se discute y compara el uso del valor actual neto (VAN) y de la tasa interna de retorno (TIR) para la determinación de la edad óptima de corta de rodales coetáneos, mediante la utilización de un ejemplo numérico.*

*Palabras clave:* Manejo forestal, Rotación forestal.

**ABSTRACT**

*Net present value (NPV) is mathematically compared to internal rate of return (IRR). Using this comparison, the optimum harvest age of even-aged stands may be determined.*

*Keywords:* Forest management, Forest rotation.

## INTRODUCCIÓN

El criterio económico-financiero es el más ampliamente usado por los propietarios de bosques, especialmente los privados, para decidir el momento óptimo de cosechar sus rodales, siguiendo el principio de maximizar sus excedentes monetarios.

Cuando se utiliza un enfoque económico en vez de uno volumétrico para determinar cuando cortar los árboles, quien toma la decisión no está pensando en el volumen de madera a obtener del rodal, sino en la cantidad de dinero que le retribuirá el bosque según la opción escogida, tanto respecto del tipo e intensidad del manejo practicado a los rodales como respecto de la edad a la cual los coseche. La naturaleza del problema es que el valor neto a obtener de la cosecha del rodal cambia año a año debido al crecimiento de los árboles y, por otra parte, con el tiempo también se van acumulando costos, tanto los costos explícitos provenientes de la plantación, manejo silvícola y administración, como los implícitos costos de oportunidad: del capital y del valor comercial del suelo. Entonces hay un momento en que el incremento del valor de la madera en pie originado en el crecimiento de los árboles ya no es suficiente para justificar la permanencia de un "stock" cuyo costo de oportunidad crece cada año.

Como es sabido, lo adecuado para examinar la magnitud de los excedentes monetarios de una alternativa cualquiera de inversión es el valor actual neto (VAN) de todos los costos y beneficios futuros de la inversión. Esto es precisamente lo que se requiere hacer para determinar la edad de rotación óptima desde el punto de vista económico: calcular el valor actual neto para cada decisión de rotación escogida y seleccionar aquella que asegure la obtención del mayor excedente neto actualizado. Además del valor actual neto, la rentabilidad de una inversión se puede medir mediante la tasa interna de retorno (TIR), indicador que puede ser apropiado solo en condiciones excepcionales. En términos estrictos, este segundo indicador es un caso especial del primero y actualmente se le reconoce una utilidad prácticamente nula, dadas las grandes limitaciones que presenta. Sin embargo, las particularidades de ambos ameritan una discusión profunda acerca de la pertinencia de cada uno de ellos.

El objetivo de este trabajo es plantear una discusión en torno a los indicadores VAN y TIR, en relación con su pertinencia para fijar correctamente la edad de corta de un rodal coetáneo. Se asume una administración descentralizada del rodal, es decir, las decisiones se toman independientemente de otros rodales.

La hipótesis planteada es que el indicador adecuado para fijar la edad de rotación de un rodal coetáneo es el VAN, pero en ciertos casos especiales puede resultar correcta la aplicación de la TIR.

## METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo es el análisis cuantitativo de un rodal de *Pinus radiata*, sometido a un esquema de manejo sin intervenciones intermedias. Se desarrolla completamente la vida de un rodal supuesto, aunque la información de rendimiento volumétrico es semejante a la que se puede observar en las tablas de rendimiento para pino insigne en Chile, según lo publicado por el Instituto Forestal (INFOR, 1985). Se presenta también el cálculo detallado del valor del vuelo del rodal para diferentes edades, basado en el valor residual de la madera en pie estandarizado para un solo producto, a fin de hacer más sencilla la presentación de la información, y el costo de formación del rodal a lo largo de la vida del mismo. También se calcula el valor actual neto para todas las potenciales edades de corta, con un tasa de descuento del 8 %; la tasa interna de retorno; la tasa de incremento del valor del vuelo, neto del gasto anual constante (gastos administrativos más costo de oportunidad del valor comercial del suelo); finalmente, el valor económico del suelo, denominado también valor potencial y valor esperado del suelo.

Los conceptos empleados responden a las siguientes expresiones matemáticas:

$$VAN = \sum_{j=0}^r \frac{B_j - C_j}{(1+i)^j}$$

$$O = \sum_{j=0}^r \frac{B_j - C_j}{(1+t)^j} \quad \text{donde } t = TIR$$

$$VES = \sum_{j=0}^r \left( \frac{(B_j - C_j)(1+i)^{r-j}}{(1+i)^r - 1} \right)$$

Donde:

- $VAN$  = Valor actual neto (\$/ha).
- $TIR$  = Tasa interna de retorno (valor decimal).
- $VES$  = Valor económico o potencial de suelo (\$/ha).
- $r$  = Edad de corta del rodal o rotación (años).
- $j$  = Edad intermedia del rodal entre 0 y  $r$  (años).
- $B_j$  = Beneficio a la edad  $j$ , (\$/ha).
- $C_j$  = Costo a la edad  $j$  (\$/ha).
- $I$  = Tasa alternativa del capital (valor decimal).
- $t$  = Tasa interna de retorno (valor decimal).



## RESULTADOS

El cálculo del desarrollo del rodal se presenta en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1

## DETERMINACIÓN DE LA EDAD DE CORTA DE UN RODAL SUPUESTO DE PINO INSIGNE

(1) Edad (años)	(2) Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	(3) Valor Vuelo (\$/ha)	(4) Costo Formación (\$/ha)	(5) VAN (\$/ha)	(6) TIR (%)	(7) P (%)	(8) VES (\$/ha)
5	52.285	209.140	190.906	12.410	10,4	-	38.852
6	60.494	241.976	216.178	16.257	10,5	10,9	43.958
7	69.707	278.828	243.473	20.629	10,6	11,1	49.528
8	80.068	320.272	272.950	25.567	10,7	11,3	55.613
9	91.742	366.968	304.786	31.106	10,8	11,5	62.243
10	104.918	419.672	339.169	37.288	10,9	11,6	69.463
11	119.818	479.272	376.302	44.162	11,0	11,8	77.326
12	136.698	546.792	416.407	51.778	11,1	12,0	85.884
13	155.854	623.416	459.719	60.191	11,2*	12,2*	95.193
14	174.006	696.024	506.497	64.527	11,1	10,0	97.837
15	193.667	774.668	557.016	68.613	11,0	9,9	100.200
16	214.914	859.656	611.578	72.412	10,9	9,7	102.261
17	237.827	951.308	670.504	75.893	10,8	9,5	104.001
18	262.483	1.049.932	734.144	79.026	10,7	9,3	105.403
19	288.955	1.155.820	802.876	81.781	10,6	9,1	106.446
20	317.317	1.269.268	877.106	84.138	10,5	9,0	107.121
21	347.636	1.390.544	957.274	86.072	10,4	8,8	107.410*
22	379.974	1.519.896	1.043.856	87.563	10,3	8,6	107.300
23	414.390	1.657.560	1.137.365	88.595	10,2	8,4	106.784
24	450.933	1.803.732	1.283.354	89.160	10,1	8,2	105.853
25	489.649	1.958.596	1.347.422	89.242	10,0	8,0	104.501
26	530.570	2.122.280	1.465.216	88.836*	9,9	7,8	102.725
27	573.724	2.294.896	1.592.433	87.939	9,8	7,7	100.523
28	619.126	2.476.504	1.729.828	86.550	9,7	7,5	97.898

Las explicaciones del cuadro son:

\* Valor más alto de la columna respectiva.

- (1) Edad del rodal, años. La columna se inicia en el 5º año, bajo el supuesto que no hay existencias madereras comerciales antes de esa edad.
- (2) Volumen hipotético del rodal para cada edad (m<sup>3</sup>/ha).
- (3) Valor del vuelo o de la madera en pie (\$/ha). El valor está calculado sobre la base de un precio de \$ 4 000/ m<sup>3</sup> en pie, es decir, neto de gastos de cosecha. La columna se calcula multiplicando la columna (2) por \$4 000. Corresponde también al valor comercial del rodal.

- (4) Costo de formación del rodal (\$/ha). Calculado sobre la base de un costo de plantación de \$ 90.000/ha, un costo anual de \$ 10.000/ha/año (administración y costo de oportunidad del valor comercial del suelo), y un costo de oportunidad del capital de 8 % real anual.

Para una edad  $e$  cualquiera, por ejemplo, el monto que alcanza el costo de formación,  $CF(e)$ , es el siguiente:

$$CF(e) = 90.000(1,08)^e + 10.000 \frac{(1,08)^e - 1}{0,08}$$

- (5) Valor actual neto del rodal para cada edad (\$/ha). Corresponde al valor neto de la inversión actualizada al año cero, suponiendo que el rodal se corta a la edad para la cual se está haciendo el cálculo.

La forma general del cálculo de esta columna, para una edad  $e$  cualquiera es la siguiente:

$$VAN(e) = \frac{VV(e)}{1,08^e} - 90.000 - 10.000 \frac{(1,08)^e - 1}{0,08(1,08)^e}$$

Donde:  $VV(e)$  es el valor del vuelo a la edad  $e$ .

Sin embargo, dado que ya se ha calculado el costo de formación del rodal, en este caso el valor actual neto se puede obtener más fácilmente así:

$$VAN(e) = \frac{VV(e) - CF(e)}{(1,08)^e}$$

- (6) Tasa interna de retorno para cada edad de cosecha (%). El cálculo de su monto para un año  $e$  cualquiera se hace mediante la siguiente expresión:

$$0 = \frac{VV(e)}{(1+t)^e} - 90.000 - 10.000 \frac{(1+t)^e - 1}{t(1+t)^e}$$

Donde:  $i$  es la tasa interna de retorno (valor decimal).

(7) Ingreso marginal bruto de cada año (%).

La expresión matemática para su cálculo en un año  $e$  es:

$$p = \left[ \frac{VV(e) - 10.000}{VV(e-1)} - 1 \right] * 100$$

Donde:  $VV(e-1)$  es el valor del vuelo del año anterior y 10 000 es el costo anual constante. Dado que este gasto anual es relativamente pequeño en relación con el valor del vuelo, especialmente cuando el rodal se va haciendo mayor,  $p$  es un valor muy cercano a la tasa de crecimiento del valor de la madera en pie. Además, dado que el valor del  $m^3$  en pie se asume constante aquí,  $p$  representa aproximadamente la tasa de crecimiento del "stock" de volumen en pie.

(8) Valor económico del suelo, \$/ha. También se le denomina valor potencial y valor esperado del suelo. Corresponde al valor actual de los beneficios netos de todas las rotaciones futuras del rodal.

El modo de cálculo más rápido a partir de los datos del cuadro, para una edad " $e$ " cualquiera, es:

$$VES(e) = \frac{VV(e) - CF(e)}{(1+i)^e - 1}$$

o bien,

$$VES(e) = \frac{VAN(1+i)^e}{(1+i)^e - 1}$$

## DISCUSIÓN

En primer lugar, obsérvese el VAN y la TIR. En el cuadro se aprecia que la edad de corta del rodal se produce a los 13 años según el criterio tasa interna de retorno, y a los 25 años según el criterio valor actual neto, edades a las cuales estos indicadores son máximos. El hecho de que las edades de corta determinadas por ambos criterios sean diferentes, hace que deba prestársele la máxima atención al análisis de la naturaleza de

la decisión a tomar, para elegir correctamente. Los datos supuestos de este ejemplo arrojan una diferencia intencionadamente grande entre los dos indicadores, pero si se calcula con datos más ajustados a la realidad, la diferencia se mantiene, aunque más estrecha.

Nótese que la TIR es máxima cuando la tasa de incremento del ingreso marginal (que, como ya se dijo, prácticamente corresponde a la tasa de incremento del valor del vuelo), se iguala con aquella. En efecto, el valor de  $p$  se mantiene por sobre el valor de la TIR mientras éste es ascendente, hasta que ambos valores se igualan, aproximadamente entre los 13 y 14 años, para luego el valor de  $p$  permanecer por debajo de la tasa interna. Aquí ocurre algo parecido a la clásica relación microeconómica existente entre las productividades media y marginal: si para un año cualquiera la tasa del ingreso marginal es mayor que la tasa interna de la inversión calculada para ese año, entonces ésta deberá volver a crecer, lo que se repite hasta que  $p$  comienza a "tirar" de la TIR hacia abajo. Esto ocurre porque la TIR, aunque es una tasa compuesta, mide la productividad media de una inversión, mientras que la tasa de incremento del valor del vuelo es una tasa marginal.

En el caso del valor actual neto, éste alcanza su máximo valor cuando  $p$  llega a ser 8 %, tasa del costo de oportunidad del capital en este ejemplo, y que como se sabe es constante e independiente, tanto de la tasa interna de retorno como de la tasa de crecimiento del valor del vuelo. En forma análoga a la señalada acerca de la relación entre la TIR y  $p$ , mientras el valor de  $p$  permanece por encima del costo de oportunidad del capital, el valor actual neto crece, hasta que la productividad marginal llega a ser igual a la tasa alternativa, momento en que el VAN alcanza su máximo. Después de que esto ocurre,  $p$  se mantiene por debajo de 8 % y entonces el VAN decrece.

Excluyendo, por ahora, los \$ 10.000 del costo anual, para simplificar la explicación, obsérvese que el costo de formación del rodal crece a una tasa constante equivalente a la tasa alternativa del propietario, en este caso 8 %, mientras que el ingreso crece cada año a una tasa variable, que corresponde al incremento del volumen del rodal. (En procura de la mayor simplicidad se ha preferido dejar constante el precio del m<sup>3</sup> en pie, considerando un solo producto, además). Como el VAN corresponde a la actualización de la diferencia entre el valor del rodal y el costo de formación del mismo, entonces parece obvio que crecerá mientras el valor del vuelo crezca a una tasa más alta que la tasa a la que crece el costo de formación.

¿Cuál es la edad correcta para cosechar el rodal, desde el punto de vista económico-financiero, 13 ó 25 años?

Para responder a esta pregunta es necesario conocer el verdadero costo de oportunidad del propietario del rodal. Si la situación corresponde a una sola rotación, en otras palabras, luego de cortar los árboles no se continuará con el negocio, el costo de oportunidad del capital del propietario es la tasa alternativa, es decir 8 % en el caso

que se estudia aquí. Esto significa que si el propietario tiene como alternativa para su inversión una tasa del 8 %, le conviene mantener su bosque en pie mientras el valor de éste se encuentre creciendo por sobre 8 %. Pero si el propietario del bosque tuviera la intención de invertir el dinero de la cosecha de nuevo en una inversión como la de este bosque, entonces deberá cosecharlo mucho antes, exactamente cuando la tasa interna de retorno es máxima, justamente porque esta rentabilidad pasa a ser el verdadero costo de oportunidad del propietario. Así, la respuesta a la pregunta antes formulada no es única, sino que depende de las intenciones (u objetivos) del propietario y, desde luego, del costo de oportunidad pertinente al momento de adoptar la decisión.

También se puede tomar la decisión desde el punto de vista del comportamiento del costo e ingreso marginales, escogiendo año a año entre las alternativas cortar o mantener el bosque en pie. Si se supone que el propietario está pensando cosechar el bosque y terminar con el negocio de los árboles, entonces la tasa alternativa pertinente para el inversionista es 8 %, y el razonamiento que deberá hacer es el siguiente:

AÑO 24:

Costo marginal de esperar un año: Corresponde a lo que deja de ganar por concepto de intereses sobre el monto del valor del vuelo a la edad de 24 años, asumiendo que 8 % es una tasa accesible para el propietario.

$$\$ 1.803.732 * 0,08 = \$ 144.299$$

Ingreso marginal de esperar un año: Corresponde al incremento del valor del vuelo entre el año 24 y el 25, menos el costo anual de mantener el rodal en pie. (No debe olvidarse que este costo corresponde a los gastos de administración más el costo de oportunidad del valor comercial del suelo).

$$\$ 1.958.596 - \$ 1.803.732 - \$ 10.000 = \$ 144.864$$

Como el ingreso de esperar un año es todavía mayor que el respectivo costo marginal de esta decisión, entonces el propietario debe esperar y no cortar aún ¿Qué decisión corresponde tomar al año siguiente?

AÑO 25:

Costo marginal de esperar un año:

$$\$ 1.958.596 * 0,08 = \$ 156.688$$

Ingreso marginal de esperar un año:

$$\$ 2.122.280 - \$ 1.958.596 - \$ 10.000 = \$ 153.684$$

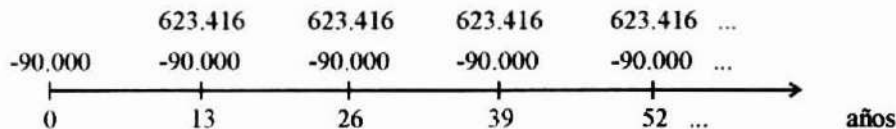
En este caso, el ingreso marginal de esperar un año adicional con el bosque en pie es inferior al costo marginal de esta opción, razón suficiente para cortar los árboles en el año 25. Esta forma de análisis es perfectamente consecuente con el cálculo del valor actual neto máximo y, en cierta forma, ayuda a comprender porqué el máximo valor de este indicador es un óptimo: el momento de cosechar el rodal se produce cuando el costo de mantener un "stock" en crecimiento (8 % en este caso) supera al beneficio de liquidarlo (tasa de crecimiento del valor de la madera en pie). No es otra cosa que la ratificación del eterno principio de la microeconomía para encontrar el nivel óptimo de producción: cuando el ingreso y el costo marginales se igualan.

Esta forma recién expuesta de averiguar si ha llegado el momento de cortar los árboles es, obviamente, aplicable en cualquier edad del rodal, no solamente alrededor de la edad de rotación, y es la que explica porqué los propietarios tienden a liquidar antes sus inversiones en bosques en períodos en que el sistema económico presenta altas tasas de interés en el mercado financiero: simplemente, la opción de cortar el bosque se hace financieramente superior a la opción de mantenerlo en pie.

Todo lo anterior muestra que la edad de rotación óptima es muy sensible al costo de oportunidad del capital. En este mismo caso, si la tasa alternativa fuese, por ejemplo, 9%, entonces la edad de rotación óptima se hubiese alcanzado bastante antes del año 25, precisamente en el año 20. Si el propietario hubiese planificado su rodal desde un comienzo para ser cortado en el año 25, pero a los 20 años de edad se percata que la tasa alternativa del capital ha subido y estima que se mantendrá en ese nivel más alto a lo largo de los próximos años, entonces debiera modificar la edad de corta antes planeada y ajustarla a la nueva condición. Obviamente el mismo tipo de conclusión debería extraerse si la tasa externa (como también se denomina al interés alternativo para la inversión) presentara una disminución estable en el tiempo, en cuyo caso la edad de corta debiera retrasarse. Vale la pena destacar que las modificaciones en la tasa externa afectan a la edad de corta tomando en cuenta solamente el criterio del máximo VAN, pero los cambios en la tasa alternativa no modifican la edad de corta según el criterio de la tasa interna de retorno, la que es independiente de la tasa alternativa del capital. Si ésta última sufriera una modificación de tal magnitud que superara a la tasa interna máxima de la inversión, existiría una razón suficiente para recomendarle al propietario del rodal que liquide su inversión de inmediato, porque ésta en realidad no debiera haberse efectuado nunca.

Retomando el análisis asociado a la tasa interna de retorno, obsérvese que si el propietario se encontrara en el año 13 de la vida del rodal y si la tasa alternativa fuese 8 %, utilizando la comparación del ingreso marginal con el costo marginal, su decisión debería ser la de mantener el rodal en pie (ya se sabe que deberá esperar hasta el año 25). Pero, ¿cuál es su decisión si el dueño pretende volver a plantar en ese sitio un bosque de las mismas características? Si corta el bosque a los 13 años obtiene un beneficio monetario de \$ 623.416 e incurrirá en un gasto de plantación (supóngase que

reforestará de inmediato, en el mismo año) ascendente a \$ 90.000, que corresponde a la inversión inicial del ciclo siguiente. Esta inversión, más los gastos anuales de \$ 10.000, tienen una rentabilidad de 11,2 %, siempre que vuelva a cortar a los 13 años y reinvierta en el mismo negocio indefinidamente. Planteado en forma esquemática, esta situación adopta el siguiente aspecto:

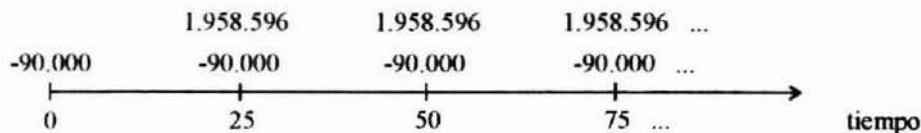


En la parte superior del eje que representa al tiempo se ubican los costos e ingresos en cada momento en que se producen (en el gráfico no aparecen los costos anuales por razones de espacio, pero deben tenerse en cuenta). Estos montos se siguen repitiendo en forma indefinida cada 13 años, como lo indican los puntos suspensivos colocados al final de cada serie de cifras. La TIR para el esquema así presentado se calcula como sigue:

$$-90.000 + \frac{623.416 - 90.000}{(1+t)^{13} - 1} - \frac{10.000}{t} = 0$$

De donde se obtiene que  $t = 11,2 \%$ . Es decir, la tasa interna de retorno de la inversión considerando tanto una sola rotación como infinitas rotaciones, alcanza al mismo valor, lo que era de esperar. El primer término de la ecuación es el costo de plantación de la primera rotación; el segundo término representa el valor actual de una serie infinita de beneficios netos que ocurren cada 13 años, donde el primero ocurre 13 años después del momento 0; y el tercero es el valor actual de la serie infinita de gastos anuales.

¿Que ocurre si se calcula la tasa interna para infinitas rotaciones de 25 años? Análogamente, el esquema es el siguiente:



Del mismo modo que antes, el respectivo planteamiento para calcular la TIR es:

$$0 = \frac{1.868.596}{(1+t)^{25} - 1} - 90.000 - \frac{10.000}{t}$$

Donde la tasa interna alcanza a 10,0 %. Si se trata de decidir cuál alternativa tiene mayor tasa interna de retorno considerando infinitas rotaciones, entonces lo correcto es escoger una edad de corta de 13 años, en este caso.

Sin embargo, ¿es la tasa interna de retorno el criterio válido para decidir el largo de la rotación? Hasta ahora se tiene que, repitiendo la inversión infinitas veces, una de las edades de corta tiene más alta rentabilidad según la tasa interna de retorno de la inversión, pero si se toma en consideración que el inversionista tiene para el proyecto completo, nuevamente, un costo de oportunidad del capital de 8 %, entonces el valor actual neto es más alto si se corta cada 25 años. Obsérvese el cálculo del respectivo VAN para las edades de corta de 13 y 25 años, con un costo alternativo del capital de 8%.

13 AÑOS:

$$VAN = \frac{533.416}{(1,08)^{13} - 1} - 90.000 - \frac{10.000}{0,08} = \$95.193$$

25 AÑOS:

$$VAN = \frac{1.868.596}{(1,08)^{25} - 1} - 90.000 - \frac{10.000}{0,08} = \$104.501$$

Al propietario le es más conveniente cosechar su bosque a los 25 años y no a los 13. Pero ¿es ésta la edad óptima de rotación del bosque, dada la nueva condición de infinitas rotaciones? Indudablemente la inversión ahora es distinta: consiste en un proyecto repetible infinitas veces, que es el caso más cercano a la situación de la empresa forestal estable en el tiempo y que debe mantener un patrimonio constante para abastecer una cierta capacidad industrial instalada. El valor actual neto de una serie infinita de rotaciones es lo que en el manejo forestal recibe el nombre de valor económico del suelo (VES) y también valor esperado o potencial del suelo (Se). Conceptualmente, corresponde a fijar la rotación del bosque a una edad que asegure el máximo aprovechamiento económico del suelo, extrayendo de él su mayor potencialidad, de manera que el propietario tenga el más alto incremento de su riqueza



netamente presente. Este es el clásico concepto presentado por Faustmann para valorizar económicamente un suelo forestal cubierto por un bosque coetáneo (DAVIS, 1966; CLUTTER et al, 1983).

De acuerdo con este criterio, como se observa en el cuadro, la edad de rotación de este rodal, considerando infinitas rotaciones, es 21 años, edad para la cual se alcanza el máximo valor económico del suelo, ascendente a \$ 107.410 por hectárea.

Parece conveniente hacer notar que la edad de rotación determinada por este criterio, al igual que en el caso del máximo VAN, es muy sensible al costo de oportunidad del capital del inversionista, ya que es fácil observar que existe una estrecha relación entre ambos. Esta estrecha dependencia que tienen de la tasa de descuento, tanto el VAN como el VES, es una de las razones por la cual a veces se prefiere utilizar la tasa interna de retorno para determinar la rentabilidad de la inversión. Pero ante este argumento no debe, a su vez, olvidarse que la TIR adolece de serias limitaciones como indicador, especialmente para comparar proyectos.

Se sabe, por ejemplo, que puede haber más de una solución al determinar la TIR y que el número de soluciones está relacionado con la cantidad de cambios de signo que presente la respectiva ecuación de cálculo. El esquema de manejo del caso analizado en este trabajo es sencillo, ya que presenta un solo cambio de signo: desde el año cero hasta el momento de la cosecha tiene solamente egresos, presentando un único y gran ingreso en el año de la corta final. Este diseño no presenta el problema de soluciones múltiples. Sin embargo, los esquemas de manejo habitualmente practicados son mucho más complejos, puesto que incorporan hasta dos o tres ingresos en edades intermedias del rodal, producto de raleos comerciales o cortas de pre-cosecha. También pueden presentarse otros ingresos originados en la extracción de productos secundarios, aunque menos frecuentemente, e incluso en las bonificaciones a las que puede acceder el propietario durante la vigencia del D.L. 701. La existencia de estos beneficios intermedios en un ciclo de la vida económica del bosque transforma un proyecto simple en otro mucho más complejo, con varios cambios de signo y que podría presentar más de una tasa interna de retorno razonablemente posible.

Pero lo anterior no es todo. El procedimiento de cálculo de la TIR presupone que todos los flujos del proyecto capitalizan precisamente a la propia tasa interna. Esto involucra una debilidad conceptual que hace poner en duda la aceptación de este indicador. Pensando en el mismo proyecto de este análisis: ¿cómo puede entenderse cabalmente el hecho de que los costos anuales, por ejemplo, capitalicen o actualicen al 11,2 %, que es la TIR del proyecto (si se corta a los 13 años)? Se puede argumentar insistiendo en que la rentabilidad de una inversión depende de la tasa alternativa del capital, y que si el VAN se calculara con una tasa de descuento de 11,2 %, sería más rentable cortar a los 13 que a los 25 ó 21 años, pero ésta es la tasa alternativa pertinente sólo si el inversionista compara su proyecto de forestación con otro similar. Esto sería cierto solamente si estuvieran disponibles otros proyectos similares o fuera posible una

amplificación sin límites del mismo proyecto (Para profundizar en este análisis ver FONTAINE, 1983; SAPAG y SAPAG, 1990; VAN HORNE, 1976).

Esta última reflexión lleva a pensar, finalmente, que a aquellas empresas que se encuentren en un período de expansión y, por lo tanto, durante un cierto tiempo estén acrecentando su patrimonio boscoso utilizando todos sus fondos en proyectos de forestación con una rentabilidad de 11,2 %, efectivamente les conviene cortar sus bosques a la edad en que su tasa interna de retorno es máxima. Pero un período de expansión de tales características es sostenible tan solo unos pocos años, llegando pronto a estabilizar su patrimonio en el tamaño adecuado para abastecer sus plantas industriales o, incluso, hasta lo que es físicamente posible expandirse. Una vez alcanzado su tamaño definitivo, la empresa estable y permanente en el tiempo deberá fijar la rotación de los rodales de sus bosques a una edad tal que obtenga de ellos el máximo valor económico del suelo. Esto no significa que el propietario no pueda cambiar nunca más la edad de corta del bosque, sino por el contrario, nuevas condiciones del costo de oportunidad del capital, de los precios relativos de los productos e insumos o del esquema de manejo empleado, obligarán a la empresa a determinar el nuevo óptimo económico para la rotación de sus bosques.

## CONCLUSIÓN

La edad de corta de rodales coetáneos puede ser muy diferente si se emplea como criterio de decisión la tasa interna de retorno o el valor actual neto, así como si el proyecto es repetible o no lo es.

El criterio adecuado para decidir cuando cortar el bosque depende fundamentalmente de los objetivos del propietario, lo que define el costo de oportunidad de su inversión. Corresponde usar el valor actual neto si el bosque no se volverá a plantar después de la primera cosecha. La tasa interna de retorno, en cambio, es pertinente solo en el excepcional caso en que el negocio consiste en una serie de rotaciones en que todos los fondos del propietario se invierten en bosques, cuya rentabilidad esperable es precisamente la TIR del proyecto. Pero para un propietario con un patrimonio estable en el tiempo lo pertinente es usar el criterio del valor económico del suelo, que conceptualmente equivale al VAN de un proyecto que se repite infinitas rotaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Clutter et al., 1983. "Timber Management: A quantitative approach". John Wiley and sons. USA.
- Davis, K., 1966. "Forest Management: Regulation and Valuation". Mc Graw-Hill Co.
- Fontaine, E., 1983. "Evaluación Social de Proyectos". Ediciones Universidad Católica, Santiago, Chile.

**INFOR, 1985.** Compendio de Tablas Auxiliares Para el Manejo de Plantaciones de Pino Insigne. Manual N° 14.

**Sapag, N. y SAPAG, R., 1990.** "Preparación y Evaluación de Proyectos". Mc Graw Hill, Bogotá.

**Van Horne, J., 1976.** "Administración Financiera". Ediciones Contabilidad Moderna, Buenos Aires.

# UN NUEVO MÉTODO PARA LA GERMINACIÓN DE *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst., RAULÍ. Ximena Calderón-Valtierra, A. Vega y C. Salazar, Biólogos, Departamento Ciencias Biológicas, Universidad de Talca. Casilla 747 Talca.

## RESUMEN

*En este trabajo se presenta un nuevo y sencillo método que reduce a 10 días el proceso germinativo de raulí. Se demuestra también que el contenido de fenoles de la cubierta externa de las semillas, al parecer del tipo saponinas, determinaría el prolongado tiempo de estratificación que se requiere para romper la latencia. Con la lixiviación gradual de estos compuestos, se incrementa en forma sostenida el porcentaje de germinación hasta valores superiores al 90%.*

*La simplicidad del método y el reducido costo de los implementos hacen aconsejable su aplicación, sustituyendo así a la tradicionalmente recomendada técnica de estratificación.*

**Palabras claves:** Fenoles, Estratificación, Lixiviación, Germinación, Raulí.

## ABSTRACT

*A new and simple method is presented in this article, in which the germination process of "Raulí", is reduced to 10 days. It is also proved the phenol content of the external coat of the seeds, it seems that the long time of stratification would be determined by the kind of saponins, when it is used the breakage latence method. With the gradual lixiviation of the components, the germination percentage increases over 90%.*

*The simplicity of the method and the lower cost are enough reasons to support the application, instead of the traditional method of stratification.*

**Key Words:** Phenols, Stratification, Lixiviation, Germination, Raulí

## INTRODUCCIÓN

Para lograr una efectiva respuesta en la germinación de *Nothofagus alpina* (Poecp. et Endl.) Oerst., raulí, tradicionalmente se ha recomendado que las semillas sean sometidas a un proceso de estratificación durante 2 a 3 meses (Kummerow y Labarca 1961, Bourke 1987, Santelices 1993, Mesa y Rotella 1994). Si bien esta técnica asegura resultados exitosos, tiene como desventaja la espera de un largo período de tiempo para disponer de las plantas necesarias. Hasta ahora no se conocen los factores que obligan a un período de estratificación tan prolongado.

## OBJETIVOS

En el trabajo se propone una técnica para reducir significativamente el período de germinación de *N. alpina* y, a la vez, se presentan los resultados de laboratorio que evidencian el rol inhibitorio de algunos compuestos fenólicos en el retardo y lentitud del proceso germinativo.

## MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo comprende la secuencia de las siguientes etapas:

- Colecta de semillas. En febrero de 1992, en el sector Caserío de Atacalco ( VIII Región, 650 msnm, Lat. 36° 53' y Long. 71° 38'), se cosecharon semillas de raulí que fueron almacenadas en laboratorio dentro de frascos de vidrio durante un año.
- Selección y germinación. Por medio de la técnica de flotación (Donoso 1975) se seleccionaron 10 grupos, con 300 semillas viables cada uno, los cuales se sometieron durante 5 minutos, por agitación, a una esterilización superficial con cloro comercial (100%). Posterior a tres o cuatro lavados en agua destilada estéril, se mantienen durante 10 días con nueva agua en un agitador orbital a 100 rpm y 22 °C de temperatura ambiental. Durante este período, diariamente y en cada grupo de semillas se realiza un recambio del agua.
- Determinación de fenoles totales. La cuantificación de los fenoles totales se realiza mediante el método de Foling-Cicaulteu (Greenberg et al, 1992) y con el agua de recambio diario de cada una de las muestras. Por cada muestra se toman 100 ul que son diluidos en 20 ml de agua destilada. Posteriormente, a 1 ml de cada dilución, se le agregan 20 ul del reactivo Foling y 200 ul de tartrato de sodio ( $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ ) dejándose en reposo durante 20 minutos. Luego, en una alícuota, con ocho repeticiones por muestra, se procede a la lectura de la Densidad Óptica (D.O.) en un espectrofotómetro Shimadzu UV-160 A a 700 nm de longitud de onda. La

concentración de los fenoles totales se determina por interpolación de las lecturas en una curva de calibración, la cual se ha construido con fenol puro en concentraciones de 0 a 0,5 ppm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología descrita permite reducir sustancialmente los plazos de la germinación de raulí. El proceso se inicia a los 3 a 6 días en el agua estéril pur, para completarse a los 10 días de tratamiento (Cuadro, Nº1). Durante el ensayo se encontraron también semillas que no germinan, para las cuales, bajo un examen con lupa estereoscópica, se determinó que carecían de embriones, a pesar de haber pasado la prueba de flotación.

Cuadro Nº 1

**PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE LA SEMILLAS DE RAULÍ Y CONCENTRACIÓN DE FENOLES EXTRAÍBLES PARA 10 DÍAS EN AGITACIÓN CON AGUA DESTILADA ESTÉRIL**

Tiempo (días)	Germinación (%)	Fenoles (mg/l)
1	0	0,8822
2	0	0,7814
3	2	0,6929
4	3	0,4799
5	6	0,3693
6	8	0,3199
7	18	0,292
8	45	0,193
9	80	0,069
10	98	0,05

En los dos primeros días la germinación es nula en todos los grupos tratados. Esta situación es coincidente con una concentración inicial alta de los fenoles totales 0,8822 mg/l para el primer día y 0,7814 mg/l para el segundo. Es claro que, después de 24 horas y posterior al primer lavado, se inicia la remoción de los compuestos con una caída de 0,1008 mg/l (Cuadro Nº 1). Sin embargo, después de 72 horas y cuando su disminución alcanza niveles de 0,4799 mg/l, algunas semillas inician la emergencia radicular. Con el transcurso del lavado y recambio diario de agua se observa que junto con incrementarse el porcentaje de germinación, disminuye también el contenido de los fenoles. El valor máximo de germinación (98%) se alcanza el 10º día de tratamiento (Cuadro Nº1). Este resultado coincide también con una caída de un 94,3% (0,8322 mg/l) en la concentración de los fenoles, respecto al contenido del inicio de la experiencia (Figura Nº 1).

Los resultados de laboratorio demuestran claramente que la agitación en un ambiente de temperatura moderada, favorece la remoción gradual de los compuestos extraíbles de la cubierta seminal, los cuales determinarían la prolongada latencia de las semillas de raulí. Cuando estas semillas son tratadas, como hasta ahora se ha recomendado, con la técnica de la estratificación durante 60 a 90 días, esta remoción ocurre con lentitud en un ambiente frío y húmedo. Los compuestos fenólicos, probablemente, corresponderán al grupo de saponinas, ya que con el lavado y fríega manual de las semillas, se origina una película blanca y superficial tipo espuma. La etapa siguiente de la experiencia estará centrada en la búsqueda y determinación de la naturaleza química específica de esta sustancia.

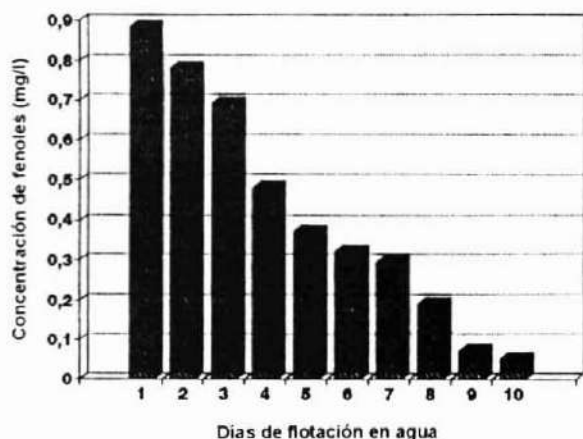


Figura Nº 1. HISTOGRAMA DE LA VARIACIÓN DIARIA DEL CONTENIDO DE FENOLES DE LAS SEMILLAS DE RAULÍ PARA 10 DÍAS DE FLOTACIÓN EN AGUA DESTILADA ESTÉRIL

## CONCLUSIÓN

El método descrito, frente a la estratificación, presenta ventajas como su fácil aplicación por la simplicidad de equipo y bajo costo de mismo, reducción significativa del período de germinación, posibilidad de tratamiento masivo de semillas, seguridad de un alto porcentaje de germinación y facilidad de seguimiento y control directo del proceso.

## RECONOCIMIENTO

Esta investigación fue iniciada con fondos del proyecto FONDECYT 91-0195

**REFERENCIAS**

- Bourke, Michael., 1987.** Germinación de Raulí Bajo Diferentes Temperaturas. *Ciencia e Investigación Forestal* 1(1): 57-65.
- Donoso, C., 1975.** Aspectos de la Fenología y Germinación de las Especies de *Nothofagus* de la Zona Mesomórfica. Santiago, Chile, U. de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Bol. Tec. N°34, 23 pp.
- Greenberg, Arnold E., Clesceri, Lenore S. & Eaton, Andrew D. Eds., 1992.** "Zannin and Lignin, Method Colorimetric". In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Parte 5550 pp 5.41 - 5.42
- Mesa, A. y Rotella A., 1994.** Morfología Comparada de Plántulas de Especies Chilenas de *Nothofagus* (Fagaceae). *Ann. Mus. Hist. Nat. Valparaiso* 22:41-48.
- Santelices, R., 1993.** Propagación Vegetativa de Raulí, Roble y Coihue a partir de Estacas. *Ciencia e Investigación Forestal* 7(1): 37-48
- Kummerow, J. & Labarca, C., 1961.** Estudios sobre el Fruto y la Semilla de *Nothofagus alpina* (Poepp et Endl.) Krasser. *FITON* 17(2):205-210.
- Von Arnold, S. & Erickson T., 1981.** In Vitro Studies of Adventitious Shoot Formation in *Pinus contorta*. *Can. J. Bot.* 59:870-874.



# EL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL<sup>(1)</sup> . Vicente Pérez Galaz, 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.

## RESUMEN

*El presente artículo entrega antecedentes necesarios para entender de una mejor forma lo que significa la expresión "contrachapado estructural". Ella involucra tener presente la calidad de las chapas de las caras exteriores del tablero, el tipo de adhesivo usado entre chapas y la calidad estructural del tablero resultante, la cual determina las tensiones admisibles que se deben usar en el cálculo de elementos estructurales que incluyan a este material entre sus componentes. Se han considerado como antecedentes las normas australianas y norteamericanas que existen, actualmente, sobre la materia.*

*El trabajo está orientado a la ilustración de usuarios, promotores del material y de algunos productores que, a veces, usan el término "contrachapado estructural" como una marca comercial, olvidando determinar y entregar los valores numéricos de sus propiedades resistentes y geométricas, sin los cuales no es posible dimensionar el elemento estructural para las cargas a las cuales estará sometido.*

*CONICYT, a través del financiamiento de sus Proyectos FONDECYT, hace posible esta investigación, la que tiene como objetivo conocer algunas propiedades teóricas y experimentales del contrachapado que se fabrica en el país.*

*Palabras Clave : Madera, Contrachapado, Estructuras.*

## ABSTRACT

*A general background for a better understanding of " structural plywood " concept is presented. The term "structural plywood " is related to a given finishing quality of the exterior faces of the board, the type of adhesive utilized to join the multiple veneers and the resulting quality of the plywood sheets.*

*The objective of this work is to describe the main mechanical properties of the structural plywood. Structural plywood quality determines its mechanical properties, that is the workings loads that should be used in the design process of structural elements containing structural plywood. Australian and American codes have been considered as references.*

*This work is aimed at to illustrate users, promoters and some manufacturers, who sometimes simply employ the term "structural plywood" as a trade mark no mentioning the working stress values at all. Without mechanical properties information on the product, structural design is not possible.*

*The author is grateful to CONICYT (National Commission of Scientific and Technological Research) who through FONDECYT research projects funding made this work possible.*

*Keywords : Timber, Plywood, Structures.*

---

(1) Proyecto FONDECYT 1950295.

## INTRODUCCIÓN

El contrachapado es un producto de la madera, en forma de tablero, conformado por chapas de madera encoladas entre sí de modo que la dirección de la fibra de algunas tulipas quede perpendicular al eje longitudinal del tablero y otras tengan dirección paralela a dicho eje. En la mayoría de los tipos de contrachapado, la dirección de las fibras de la caras exteriores se deja paralela al eje longitudinal del tablero. Por lo tanto, para mantener éste balanceado, se usa un número impar de chapas, alternándose la dirección de las fibras.

Sin embargo, algunos tableros de contrachapado se producen con un número par de chapas, en tal caso se deben dejar dos chapas con la fibra en la misma dirección para conformar la parte central del tablero.

El contrachapado también se construye usando madera cepillada o tableros de partículas en el centro, recubriéndolos con una chapa de madera en ambas caras. Estos tipos de tableros se usan con frecuencia en la industria del mueble y en algunos casos en la construcción.

A pesar que la industria del contrachapado sólo data del año 1905, la chapa tiene una historia mucho más extensa. Se sabe que los egipcios ( 1500 A.C.) fabricaban chapas para decorar muebles. Los griegos y romanos también ocuparon métodos para cortar chapas. El gran avance de la Industria del Contrachapado se produce en 1930. La adopción de la prensa caliente y el desarrollo de los adhesivos a base de resinas sintéticas se reconocen como los hitos principales para su impulso definitivo.

La mayor parte de la tecnología para la industria del contrachapado confeccionado con coníferas se desarrolló en Estados Unidos. La Segunda Guerra Mundial aceleró tal tecnología para fabricar tableros contrachapados para ser usados en exteriores, mediante el empleo de adhesivos derivados de resinas fenólicas, los cuales se utilizaron para la fabricación de naves pequeñas de combate. En la década del 70 otras áreas adoptaron esta técnica para producir contrachapado a base de trozas de pequeño diámetro.

La tecnología para producir contrachapado con especies latifoliadas difiere considerablemente de aquella usada para producir este material con especies coníferas. Los grados de calidad y sus usos difieren notablemente para latifoliadas y coníferas. Los contrachapados de coníferas se usan, principalmente, en la construcción. Para éstos se emplean chapas gruesas y bastas y se fabrican tanto con caras sin lijado, para revestimientos y pisos que posteriormente serán recubiertos, como cepilladas para una gran variedad de usos tanto decorativos como estructurales.

Las chapas producidas con especies latifoliadas son usadas para fabricar paneles decorativos, elementos aislados para la industria, muebles y también como material de

construcción. La industria del contrachapado de latifoliadas es muy diversa en los países desarrollados: Comprende desde elementos solicitados por el consumidor para aplicaciones arquitectónicas específicas, hasta empresas con líneas de producción mayor, similares a las mencionadas para el tablero contrachapado de coníferas.

El contrachapado se ha convertido en un valioso material, debido a que tiene propiedades únicas e ideales para la construcción : Es liviano y sin embargo resistente, es un tablero por lo que puede cubrir grandes áreas de pisos, muros o techumbres manipulando sólo unas pocas piezas. Puede ser clavado, encolado y cortado con la misma facilidad que la madera. Su primer gran uso, allá por 1910, fue la fabricación de puertas. Desde entonces, este material ha reemplazado a la madera en muchas aplicaciones, de las cuales se destaca el revestimiento de muros, pisos y techumbres. En las últimas décadas el contrachapado fabricado con coníferas ha permitido el progreso de la industria del prefabricado de elementos destinados a la industria de la vivienda.

El contrachapado tiene algunas ventajas sobre la madera, pero no es más resistente en todos los aspectos. Una franja de contrachapado entre dos apoyos no soporta más carga que un trozo de madera de las mismas dimensiones. En tal situación la madera será un poco más resistente. Sin embargo, el contrachapado proporciona resistencia a la flexión en ambas direcciones de su plano, por lo que es muy conveniente como cubierta de pisos, de techumbre y de muros, esté paralelo o normal a las vigas que lo sostienen. Otra ventaja del contrachapado es su forma rectangular rígida, lo que hace casi imposible deformarlo mediante una fuerza con dirección paralela al plano del tablero.

Esta propiedad explica el buen comportamiento de muros exteriores, pisos y techumbres en viviendas o estructuras sometidas a fuerzas sísmicas o de vientos de alta velocidad.

En Chile es cada vez mayor la utilización del contrachapado derivado de especies latifoliadas. En los últimos años se ha estado fabricando contrachapado de pino radiata, para la construcción. Sin embargo su uso ha estado limitado por el desconocimiento que los industriales y profesionales de la construcción tienen del nombre " contrachapado estructural " y de lo que en realidad involucra.

## **DEFINICIÓN DEL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL**

Se entiende por " contrachapado estructural " a un tablero con propiedades físicas y mecánicas o estructurales definidas ( conocidas ).

Las propiedades físicas que se deben conocer son :

Contenido de Humedad media del tablero, densidad o peso específico, contracciones y expansiones, peso por unidad de superficie y dimensiones finales (espesor, ancho y longitud).

Las propiedades mecánicas que se deben determinar son:

Tensiones de flexión en el límite de proporcionalidad, módulo de ruptura y módulo de elasticidad para carga aplicada en la cara del tablero, con direcciones de la fibra de las caras exteriores paralela y normal a la luz (distancia entre apoyos) de la pieza.

Tensiones de flexión en el límite de proporcionalidad, módulo de ruptura y módulo de elasticidad, para carga aplicada en el canto de la pieza con direcciones de la fibra de las caras exteriores paralela y normal a la luz.

Tensiones máximas o de ruptura a la compresión, para carga aplicada en el canto de la pieza, con direcciones de la fibra de las caras exteriores paralela y normal a la dirección de la carga.

Tensiones máximas o de ruptura a la tracción, para carga aplicada en el canto de la pieza, con direcciones de la fibra de las caras exteriores paralela y normal a la dirección de la carga.

Tensiones máximas o de ruptura al cizalle a través del espesor, para carga aplicada en el canto de la pieza, con direcciones de la fibra de las caras exteriores paralela y normal a la dirección de la carga.

Tensiones máximas o de ruptura de cizalle entre chapas, para cargas aplicadas en las caras de las piezas con dirección de la fibra de las caras exteriores normal a la dirección de la carga.

Módulo de cizalle en el plano del tablero (G).

Si de un tablero se desconocen estas propiedades mecánicas, con el no es posible el cálculo de elementos estructurales y por lo tanto a dicho tablero no se le puede definir como estructural.

En los diferentes países desarrollados se han establecido normas para la determinación de estas propiedades de los tableros. Las más conocidas y usadas son las Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). También se destacan las normas de la American Plywood Association (APA) y las normas australianas Australian Standards (AS).

En el presente trabajo se revisarán las Normas AS, pues son las más simples de aplicar en un país como Chile, con pocas especies forestales, que está iniciando su normalización en este campo. Además, los criterios de normalización australianos ya fueron incluidos en las Normas Chilenas, específicamente para determinar las Tensiones Admisibles de las maderas comerciales crecidas en el país ( Ver NCh 1198 ).

## COMPARACIÓN ENTRE CONTRACHAPADO Y MADERA

El contrachapado puede estar compuesto de chapas de diferentes espesores, de distintas especies madereras y de diversas calidades estructurales. Las chapas, en el contrachapado, tienen una leve diferencia de propiedades estructurales con las correspondientes a las de la madera origen. Las causas de ello son:

En el momento de la manufactura las chapas tienen numerosas grietas, las cuales son parcialmente rellenas por el adhesivo durante el prensado.

El bajo contenido de humedad al cual se secan las chapas, antes del proceso de fabricación del tablero.

El tamaño de los defectos inherentes a la madera se reduce tomando el espesor de la chapa y, además se dispersan. Como consecuencia de ello son menos influyentes sobre la resistencia.

Debido a que dos chapas adyacentes tienen normalmente sus fibras perpendiculares entre sí, los tableros de contrachapado poseen resistencias bastante parecidas en la dirección longitudinal y transversal, en comparación con la madera. Obviamente, esto también significa que el contrachapado es menos resistente que una pieza de madera solicitada en dirección paralela a la fibra. Las otras ventajas del contrachapado son: gran resistencia al agrietamiento y a la aparición de rajaduras, alta resistencia al cizalle a través del espesor y gran estabilidad dimensional.

## PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL CONTRACHAPADO

La naturaleza de una franja de contrachapado es tal que la resistencia y rigidez de las chapas que tienen sus fibras en dirección normal a la dirección de la sollicitación, contribuyen poco a la resistencia y rigidez del tablero.

Una buena aproximación a las reales propiedades estructurales se puede alcanzar tomando en cuenta sólo las chapas con fibras paralelas a la dirección de la sollicitación. De esta forma, es posible calcular las propiedades estructurales del contrachapado una vez que se conozcan las propiedades de cada chapa. Con esta aproximación, el contrachapado se considera como una colección de piezas de madera, solicitadas por compresión paralela a la fibra. Resulta factible usar para el contrachapado la misma tensión admisible usada para la madera.

Cuando la sollicitación está desangulada en 45° respecto a la fibra de la chapa exterior y es necesario considerar las tensiones de cizalle, la estimación anterior no resulta recomendable. Es más conveniente basar el cálculo de esta tensión utilizando la sección transversal total, deduciendo las tensiones admisibles directamente de datos experimentales obtenidos de ensayos con contrachapado.

## REQUERIMIENTOS GENERALES DEL CONTRACHAPADO

La norma australiana AS 2269 establece calidades de chapas, calidad del adhesivo, uniones de chapas, tolerancia de las dimensiones y tensiones admisibles. Una breve revisión de esta norma permitirá aclarar los requisitos generales que, en países desarrollados, se le exigen al contrachapado estructural.

### Calidad de Chapas

Las calidades de chapas que se establecen son cinco : Calidad A, Calidad S, Calidad B, Calidad C y Calidad D. Las características de ellas son:

- Calidad A. Describe una alta calidad del aspecto o apariencia de la chapa, apto para usarla sin revestimiento alguno por su característica de estar libre de defectos. Se recomienda en contrachapados donde el aspecto decorativo es importante, además de su comportamiento estructural y de su confiabilidad.
- Calidad S. Define una calidad de su aspecto que permite la presencia de características naturales de la madera, tales como nudos, que para el usuario son estéticas. Para ello se necesita el acuerdo entre ambas partes, productor y comprador, materializado en unas especificaciones escritas y aprobadas por los interesados, definiendo el tamaño y frecuencia aceptables de dichas características.
- Calidad B. Es una calidad por aspecto apto para dar, con pintura, una terminación de alta calidad, o dicho de otra, forma la superficie de la chapa debe ser capaz de aceptar pinturas y quedar con gran calidad de terminación.
- Calidad C. A esta calidad no se le exige en su apariencia o aspecto, pero debe tener una superficie sólida. Todos los defectos abiertos que existan en la chapa, antes de la aplicación del adhesivo, tales como agujeros y grietas, deben ser rellenados. Contrachapados con caras Calidad C se requieren para aplicaciones en donde se hace necesaria una superficie sólida, que no necesita ser decorativa, como es el caso del contrachapado que se pone en el piso para ser recubierto con alfombra, etc.
- Calidad D. A esta calidad no se le exige en su apariencia o aspecto, y se le permiten defectos abiertos tales como nudos, agujeros, grietas, etc., siempre que no sobrepasen 75 mm de ancho, medidos en dirección perpendicular a la fibra. Por apariencia, corresponde a la inferior calidad de las chapas. Se utiliza en aplicaciones en las cuales el aspecto no es prioritario pero sí el comportamiento estructural, como es el caso de cerchas, vigas ocultas, pies-derechos en paneles de muro, arriostramientos, etc.

El contrachapado estructural debe ser clasificado de acuerdo a la calidad por apariencia de las superficies de las caras exteriores.

Las superficies exteriores del contrachapado estructural pueden ser: calidad C y calidad D y deben corresponder, respectivamente, a chapas de calidad C y calidad D.

Las calidades obtenidas en la clasificación por aspecto del contrachapado estructural deben ser designadas por una combinación de letras que señalan la calidad de la chapa de la cara (primera letra) y de la contracara (segunda letra), como sigue :

CC CD DD

Pueden especificarse, también, calidades por aspecto superiores. Estos tipos corresponden a chapas con calidad A, calidad S y calidad B, pero todos ellos deben clasificarse, estructuralmente, como Calidad D. Por ejemplo, si un tablero tiene Calidad S en la cara y Calidad D en la contracara, el contrachapado estructural tendrá como clasificación final: DD.

Las especificaciones particulares de las calidades se presentan en el Cuadro Nº1.

### Tipo de Unión Encolada

El tipo de unión encolada depende del adhesivo aplicado en las chapas. Según éste se tienen: Unión tipo A, unión tipo B, unión tipo C y unión tipo D. Las características de los distintos tipos son las siguientes:

- Unión tipo A. Se obtiene con un adhesivo basado en una resina sintética: fenol-formaldehído, y fragua en forma definitiva bajo temperatura y presión controlada. La unión que origina con el contrachapado no se deteriora bajo condiciones húmedas, bajo calor o frío. Se le reconoce por su color café oscuro. Este tipo de unión se especifica para contrachapado marino, para contrachapado estructural y para contrachapado exterior, usado en condiciones de largas y severas exposiciones en ambientes húmedos (exteriores) o sumergido en agua.
- Unión tipo B. Obtenido con un adhesivo fabricado en base a la resina sintética melamina-formaldehído, fortificada con urea-formaldehído, y fragua también bajo temperatura y presión controlada. Esta unión se especifica para contrachapados que se someterán a condiciones húmedas de exteriores que involucran un período de hasta dos años de duración, tales como contrachapados para moldajes, o usados en aplicaciones sometidas a humedad intermitente, como es el caso de recubrimientos de puertas al exterior.

Cuadro N° 1

## REQUISITOS DE LAS CHAPAS QUE CONFORMAN EL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL

Defectos	Calidad de la chapa	
	C	D
Pudrición y ataque activo de insectos	No se aceptan	
Fallas en las uniones de canto, grietas, agujeros, parches, bolsillos de corteza y de resinas, áreas de pudrición inactiva.	Las dimensiones acumuladas, en una longitud de 300 mm, no deben exceder de 75 mm.	
Chapas	Deben cortarse suave y firmemente a un espesor constante. Pueden ir en más de una pieza y no necesitan ser del mismo color.	
Bolsillos de corteza, goma y resina	Individualmente no deben exceder de un ancho (medido en dirección normal a la fibra) igual a 6 mm o de una superficie igual a 2.000 mm <sup>2</sup> .	Individualmente no deben exceder de un ancho (medido en dirección normal a la fibra) igual a 75 mm o de una superficie igual a 15.000 mm <sup>2</sup> .
Uniones de canto sin relleno		Individualmente no deben exceder de 6 mm (medido en dirección normal a la fibra) o de una superficie igual a 4.000 mm <sup>2</sup> .
Rajaduras sin relleno		Individualmente no deben exceder de 9 mm de ancho, medidos en dirección normal a la fibra y de un largo igual a la mitad de la longitud del tablero, medido en dirección de la fibra Individualmente no deben exceder de 12 mm de ancho, medidos en dirección normal de la fibra y de un largo igual a la 1/3 de la longitud del tablero, medido en dirección de la fibra.
Uniones de canto y rajaduras con relleno	Individualmente no deben exceder de un ancho (medido en dirección normal a la fibra) igual a 9 mm o de una superficie igual a 6.000 mm <sup>2</sup> .	Se aceptan sin limitaciones.
Agujeros sin relleno	Individualmente no deben exceder de un ancho de 12 mm (medido en dirección normal a la fibra) y, considerando la suma acumulada de sus superficies, ésta no debe exceder de igual a 6 mm o de 400 mm <sup>2</sup> por tablero.	Individualmente no deben exceder de un ancho de 75 mm (medido en dirección normal de la fibra) y considerando la suma acumulada de sus superficies, no debe exceder de 15.000 mm <sup>2</sup> por tablero.
Agujeros con relleno	Individualmente no deben exceder de un ancho de 50 mm (medido en dirección normal a la fibra) y considerando la suma acumulada de sus superficies, no deben exceder de 7.500 mm <sup>2</sup> por tablero.	
Nudos	Individualmente no deben exceder de 50 mm, medidos en dirección normal a la fibra.	Individualmente no deben exceder de 75 mm, medidos en dirección normal a la fibra.
Parches simples	No deben exceder de 75 mm, medidos en dirección normal a la fibra.	No deben exceder de 100 mm, medidos en dirección normal a la fibra.
Manchas y decoloración	Se aceptan sin limitaciones	
Escumamiento de adhesivo	Se aceptan sin limitaciones	
Desviación de la fibra (sólo en contrachapado clasificado visualmente)	No debe exceder el tamaño 1:7 si se extiende en más de 1/4 del área del tablero. No se limita si se localiza en la vecindad de nudos y de otros defectos.	
Resina	Se aceptan sin limitaciones	
Rugosidad de la superficie	Leve	



- Uniones tipos C y D. Ambos tipos son para condiciones de uso en interiores y no se recomiendan para contrachapados que estarán en el exterior o sometidos a exposición de humedad o donde existan solicitaciones permanentes de aplastamiento. Aún cuando se usan en interiores los tipos de uniones C y D, no se recomiendan para contrachapado estructural. La línea de encolado tiene un leve coloreado. Estos tipos de uniones utilizan un adhesivo a base de urea-formaldehído que fragua bajo condiciones controladas de temperatura y presión. En resumen, estas uniones encoladas son aconsejables para contrachapados de uso interior no estructural.

Los contrachapados estructurales deben tener una union tipo A, usando un adhesivo a base de fenol-formaldehído.

### Uniones de Chapas

- Uniones de Extremos. Cuando las chapas se unen por sus extremos, estas uniones deben ser achaflanadas, con una inclinación no mayor que 1:6, y el encolado de unión de extremos debe ser efectuado con un adhesivo de tipo fenólico.
- Uniones de los Cantos. Las uniones de los cantos de las chapas no necesitan ser encoladas, pero ellas deben cumplir con los requisitos establecidos para la calidad de las chapas.
- Uniones en los Tableros Contrachapados. Las uniones en los extremos y en los cantos de trozos de tableros por unir para conformar un sólo tablero, deben efectuarse con corte de pluma (chaflán), realizado a través de todo el espesor del tablero, de acuerdo a los siguientes requisitos:

Los tableros por unir deben ser fabricados con iguales materiales y proceso de fabricación.

Los chaflanes deben efectuarse a través de todo el espesor de ambos tableros.

La inclinación de los chaflanes no debe ser mayor que 1:10 para tableros de espesor menor que 12 mm y 1:8 para tableros de 12 mm o más de espesor.

Las chapas ubicadas en las caras de los tableros que se unen deben tener igual dirección.

El encolado de las uniones achaflanadas de los tableros que se unen debe efectuarse con un adhesivo tipo fenólico.

- Encolado entre Chapas. Como se dijo anteriormente, el encolado entre chapas debe ser del tipo A y debe cumplir con los siguientes requisitos:

El adhesivo usado en la fabricación del contrachapado estructural, debe ser del tipo fenólico.

El contrachapado entre chapas debe ser continuo sobre toda el área del tablero.

- Ensamblado del contrachapado. La construcción deberá cumplir con los siguientes requisitos :

La construcción debe ser balanceada.

La dirección de las fibras, en chapas adyacentes, debe quedar formando un ángulo de aproximadamente  $90^\circ$ , con excepción del caso en que el número de chapas sea par. Las fibras de las chapas centrales deben quedar en la misma dirección.

Los tableros deben quedar libres de cualquier material metálico, tales como clips o corchetes.

- Espesor de las chapas en el tablero. El espesor nominal de las chapas debe ser de: 1,4 mm; 1,6 mm; 2,5 mm o 3,2 mm. Se deben determinar las propiedades de las secciones transversales para estos espesores<sup>(2)</sup>.
- Sopladuras. Se permiten las sopladuras en las chapas centrales, resultantes del uso de la calidad D o de chapas de distinta calidad.
- Traslapos y Pliegues. Se admiten, siempre que la resistencia o utilidad del tablero no se reduzca. En los tableros no destinados a uso estructural, las chapas más compactas deben ubicarse en las caras exteriores.

### Dimensiones y Formas

- Dimensiones. Las dimensiones reales de los tableros no deben diferir de las dimensiones solicitadas, en más de las siguientes tolerancias:

Espesor<sup>(3)</sup>. Para tableros no lijados con un espesor hasta 6 mm, inclusive, más o menos 5%. Para tableros no lijados con un espesor superior a 6 mm más o menos 3% y para tableros lijados una tolerancia adicional de -0,3 mm por cara lijada.

Longitud y Ancho, más o menos 1,5 mm.

- Forma. Cuando se procede a medir un tablero contrachapado, éste debe cumplir con los siguientes requisitos:

Cuadratura o Rectangularidad. La diferencia entre longitudes de las dos diagonales del tablero no debe exceder de 0,2 % de la longitud de la diagonal más larga.

(2) Pueden ser usados otros espesores de chapas, siempre que los detalles de éstos y el tipo de construcción sean informados por el fabricante, de tal modo que permitan calcular las propiedades geométricas de las secciones transversales.

(3) Las dimensiones del espesor se aplican a tableros sin recubrimientos u otra capa sobre el tablero, como barniz, pintura, papel, etc.

**Rectitud de los Bordes.** Cualquier borde del tablero no debe desviarse de la línea recta en más del 0,05% de la longitud de dicho borde.

**Lisura.** Para un tablero no cargado, la distancia máxima entre cualquier punto del tablero y un plano horizontal no debe exceder de 50 mm. Cuando el tablero se carga y tiene hasta 12 mm de espesor, 10 Kg. Para tableros que exceden los 12 mm de espesor, 15 Kg. El tablero debe tocar la superficie horizontal justo debajo (según una vertical) del área cargada.

**Terminaciones.** A menos que se especifique de otra forma, cada tablero contrachapado estructural debe tener su cara y trasera no pulida o lijada, y libre de parches. Los bordes deben estar cortados limpiamente y perpendiculares a las caras. Son permitidos los defectos de aserrado ubicados hasta 5 mm del borde.

**Uniones en los Tableros.** Las uniones de trozos de tableros, para conformar un contrachapado estructural, pueden ser convenidas entre comprador y vendedor.

### **Contenido de Humedad**

En el momento del despacho del contrachapado, el contenido de humedad, en cualquier punto del tablero, debe ser:

- Para tableros que no excedan de 7 mm de espesor, no menos que 10% y no más que 15%
- Para tableros que excedan de 7 mm de espesor, no menos que 8% y no más que 15%
- En caso de controversia, el contenido de humedad debe determinarse por el método de secado en estufa, especificado en la norma correspondiente.

### **CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS TABLEROS**

Los tableros de contrachapado estructural, fabricados con chapas de calidad C y calidad D, deberán ser clasificados por uno de los dos procedimientos descritos a continuación :

#### **Método de la Densidad de las Chapas**

Para tableros de contrachapado estructural contruidos de chapas provenientes de una especie maderera para la cual no se ha definido una clase estructural, se debe determinar la densidad media de las chapas provenientes de esa especie y con la ayuda del Cuadro N°2, encontrar la clase estructural que le corresponde a dicha madera.

Los valores de las Tensiones Admisibles, que corresponden a cada clase estructural, son los incluidos en la Norma NCh 1198, Cuadros N° 3A y 3B.

Cuadro N° 2.

CLASE ESTRUCTURAL DETERMINADA EN BASE A LA DENSIDAD DE LA CHAPA EXTRAIDA DE LA MADERA USADA.

Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	Clase estructural
1.200	F 34
1.080	F 27
960	F 22
840	F 17
730	F 14
620	F 11
520	F 8
420	F 7

\* Valores promedios obtenidos de determinaciones de densidad en a lo menos 5 trozas de una especie determinada o, cuando no están disponibles 5 trozas, el valor promedio se obtiene de a lo menos 5 chapas escogidas al azar, del total de chapas cortadas de una troza o de trozas de una especie determinada.

Cuadro N° 3A

TENSIONES ADMISIBLES DE LAS CLASES ESTRUCTURALES.

Clase Estructural	Tensión Admisible (MPa)						
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión		Ef	G
				En el plano del tablero	Perpendicular al plano del tablero		
F 34	34,5	27,5	2,3	25,9	10,4	18.150	908
F 27	27,5	22,0	2,3	20,6	9,0	15.000	750
F 22	22,0	17,0	2,3	16,5	7,8	12.600	630
F 17	17,0	14,0	2,3	12,8	6,6	10.600	530
F 14	14,0	11,0	2,1	10,5	5,2	9.100	455
F 11	11,0	8,6	1,8	8,3	4,1	7.900	395
F 8	8,6	6,9	1,6	6,5	3,5	6.900	345
F 7	6,9	5,5	1,4	5,2	2,6	6.100	305

## Método de Clasificación Estructural Mecánica

Es un método de clasificación no destructivo que permite establecer la clase estructural de un tablero contrachapado, determinando la relación carga-deformación.

Cuadro N° 3B.

### TENSIONES ADMISIBLES DE LOS GRADOS ESTRUCTURALES DEL PINO RADIATA.

Clase Estructural	Tensión Admisible (MPa)						
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión		Ef	G
				En el plano del tablero	Perpendicular al plano del tablero		
GS	11,0	6,6	0,9	8,3	2,5	10.500	525
G1	7,5	4,5	0,7	5,6	2,5	9.000	450
G2	4,0	2,0	0,4	4,0	2,5	7.000	350

El procedimiento es el siguiente:

- Determinar el espesor y ancho de la probeta (tablero).
- Determinar la luz (L), considerando que la razón mínima entre luz/espesor debe ser 48.
- Determinar el Momento de Inercia (I) de todas las chapas que componen el tablero, considerando el ángulo que forma la dirección de la fibra, en la chapa, con la dirección de la sollicitación.
- Colocar el tablero sobre los apoyos de modo que la dirección de la fibra de las caras exteriores sea paralela a la luz.
- Eliminar el posible error del cero, colocando una carga inicial en el centro de la luz.
- Aplicar una segunda carga conocida (P) y leer la deformación ( $\Delta$ ) que corresponda a dicha carga.
- Calcular el módulo de elasticidad (Ef) del tablero, usando la expresión:

$$Ef = \frac{P * L^3}{48 * \Delta * I}$$

- Con el módulo de elasticidad así calculado, determinar, en los Cuadros N°3A o N°3B la clase o calidad estructural del tablero en estudio.

## IDENTIFICACIÓN DEL TABLERO CONTRACHAPADO

Cada tablero de contrachapado estructural debe contener la siguiente información, en forma legible e indeleble, por lo menos una vez.

- Nombre del fabricante o su marca registrada.
- La palabra "Estructural" o la descripción del producto.
- La calidad del aspecto de las chapas exteriores (la cara primero y luego la contracara: CC, CD o DD).
- El tipo de encolado aplicado entre chapas, por ejemplo: "Unión Tipo A".
- Una indicación de la calidad estructural del tablero.

Ejemplo: "F 7" o una marca con el color apropiado. Cada una de ellas puede correlacionarse con un color. La Norma Australiana establece:

F 7	: Azul	F 17	: Amarillo
F 8	: Verde	F 22	: Blanco
F 11	: Púrpura	F 27	: Sin color
F 14	: Naranja	F 34	: Sin color

- Si el tablero recibe un tratamiento preservador, éste debe cumplir con la correspondiente norma chilena sobre preservación.
- Los requisitos: b), c), d) y e) deben colocarse en la siguiente forma típica:

ESTRUCTURAL  
CD - UNION A  
F 7

Ésto indica: Contrachapado estructural, con cara calidad C, trasera calidad D, unión encolada Tipo A y calidad estructural F 7

Se advierte que la presencia de la identificación señalada en el contrachapado, en el empaquetado o en la literatura relacionada con la adquisición puede tomarse como una afirmación del fabricante que su producto así marcado cumple todas las especificaciones normalizadas. Es conveniente que el comprador se proteja con un Certificado de Control de Calidad obtenido mediante un muestreo y ensayos de la muestra extraída. En tal caso el Informe debe contener, a lo menos, lo siguiente: Dimensiones de los tableros que constituyen la muestra, número de tableros controlados. Contenido de Humedad de los tableros muestreados, luz de ensayo en mm, carga aplicada, deformación obtenida con tal carga y referencia a la norma con cuyas especificaciones se realizó el control.

## PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL CONTRACHAPADO

Debido a que el contrachapado está constituido, generalmente, por un número impar de láminas superpuestas, con diferentes direcciones de fibra, usualmente ortogonales, se originan propiedades mecánicas distintas dependientes de la orientación de la fibra en las chapas externas y, más aún, cuando las láminas que conforman un mismo tablero provienen de especies diferentes. Por otra parte, aunque un tablero esté fabricado con chapas de la misma especie, la calidad de las interiores resulta de inferior calidad que aquellas ubicadas en las caras exteriores.

Para enfrentar el estudio de un material compuesto por láminas con propiedades mecánicas diferentes, se ha recurrido a tres métodos:

"Método de la Sección Transversal Efectiva" o de las capas paralelas.

"Método de la Sección Transversal Transformada", y

"Método de la Sección Transversal Bruta".

### Método de la Sección Transversal Efectiva

Desarrollado en Estados Unidos, por Freas y Liska, ha sido usado durante mucho tiempo en ese país y Canadá. Este método sólo considera como secciones efectivas de una sección transversal a las chapas cuyas fibras tienen la misma dirección de los esfuerzos principales.

Los ensayos realizados, para avalar esta teoría, demuestran que en muchos casos prácticos la aproximación es aceptablemente buena. Las mejores predicciones se obtienen en compresión y en tracción, y las más deficientes, en flexión. La peor aproximación resulta para el caso en que la fibra de la chapa externa se dispone en dirección perpendicular a la luz, resultando un momento resistente un 50% mayor que el previsto en forma teórica.

Entre las desventajas de éste método se pueden mencionar: La no aplicabilidad para casos donde los esfuerzos principales queden en direcciones diferentes de  $0^\circ$  ó de  $90^\circ$ , con respecto a la chapa externa, y cuando el contrachapado es solicitado al corte.

### Método de la Sección Transversal Transformada

Este método es similar al anterior, pero se diferencia de él al considerar el aporte de las chapas cuyas fibras son perpendiculares a la dirección de los esfuerzos principales. Tiene la ventaja sobre el anterior, que permite describir el comportamiento para cualquier ángulo entre la dirección de la fibra de la chapa exterior (f.c.e.) y la dirección de los esfuerzos principales.

Este procedimiento considera, para las chapas cuya dirección de la fibra es diferente al esfuerzo principal, una fracción de la propiedad mecánica aplicable a la chapa si ésta tuviese la dirección de sus fibras paralela al esfuerzo principal. Las propiedades mecánicas para las cuales opera este método, son :

Módulo de elasticidad para compresión, tracción y flexión; y Módulo de Corte, G, para el cizalle.

Para determinar las propiedades geométricas, se considera un ancho efectivo menor en aquellas láminas que no tienen la misma propiedad mecánica de las chapas externas. Estas diferencias ocurren cuando las láminas tienen una dirección de fibra diferente al esfuerzo principal, o bien en chapas internas de diferente especie maderera o de distinta calidad.

El ancho se reduce en función de la propiedad mecánica de las chapas externas, si éstas tienen sus fibras en la dirección del esfuerzo principal.

Para la aplicación de los dos métodos ya analizados, se debe evaluar, para cada espesor de tablero, las propiedades geométricas mínimas por ser usadas en la verificación o diseño compatibles con la norma de fabricación.

### **Método de la Sección Transversal Bruta**

Fue propuesto en 1963 por el investigador sueco E. Niskanen, como alternativa a los métodos anteriores, con el objeto de obviar la complejidad inherente a su uso práctico.

En el método de la sección transversal bruta las tensiones básicas se determinan de ensayos realizados en probetas pequeñas extraídas de tableros comerciales.

Entre las ventajas de éste método, la más importante es que no tiene cabida la subestimación de las propiedades geométricas del material, como ocurre con el "Método de la Sección Transversal Efectiva". Por otra parte, al considerar la sección transversal neta, las propiedades mecánicas no están sujetas directamente a las dimensiones de la chapa, como ocurre con los métodos anteriormente presentados.

Tanto las relaciones que entrega la American Plywood Association (A.P.A.), como las fórmulas empíricas norteamericanas no garantizan una aplicabilidad a los tableros fabricados con especies madereras crecidas en Chile. Por lo tanto, se hace necesario conocer el comportamiento del contrachapado nacional, utilizando los tres métodos ya señalados.

Para obtener información con propósitos de diseño de elementos estructurales, las probetas de ensayo deberán tener un número suficiente de características reductoras (defectos), localizadas apropiadamente. Pero resulta difícil establecer reglas generales para el muestreo o extracción de probetas de cada tablero. Sólo es posible controlar los defectos de las chapas externas. Se desconoce la correlación entre los resultados de



probetas pequeñas, donde se incluya defectos permitidos, y el comportamiento de los componentes estructurales de tamaño mayor. Por lo expuesto anteriormente, lo normal es ensayar probetas libres de defectos en sus caras exteriores.

## REFERENCIAS.

- Instituto Forestal, 1981.** Propiedades Mecánicas y Asociadas del Contrachapado Fabricado en Chile. Informe Técnico N° 81, Santiago, Chile.
- De Urruticochea S., Carlos, 1984.** Propiedades Mecánicas de un Contrachapado Estructural de Tapa y Olivillo. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago.
- Alegria M. y González S., 1990.** Estudio de las Propiedades Mecánicas del Contrachapado Estructural INFODEMA S.A. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago.
- Boding J. and Joyne B., 1982.** Mechanics of Wood and Wood Composites. Published by Von Nostrand Reinold Company Inc., New York. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials, 1992.** ASTM D-4442, Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood
- American Society for Testing and Materials, 1987.** ASTM D-2395, Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-base Materials.
- American Society for Testing and Materials, 1987.** ASTM D-3501, Standard Methods of Testing Plywood in Compression.
- American Society for Testing and Materials, 1987.** ASTM D-3500, Standard Methods for Structural Panels in Tension.
- American Society for Testing and Materials, 1987.** ASTM D-3043, Standard Methods of Testing Structural Panels in Flexure.
- American Society for Testing and Materials, 1990.** ASTM D-2718, Standard Test Method for Structural Panels in Planar Shear (Rolling Shear).
- American Society for Testing and Materials, 1986.** ASTM D-3044, Standard Test Method for Shear Modulus of Plywood
- Standards Association of Australia, 1979.** AS 2269, Structural Plywood.
- Standards Association of Australia, 1977.** AS 2097, Methods for Sampling Veneer and Plywood.
- Standards Association of Australia, 1977.** AS 2098, Methods of Test for Veneer and Plywood.
- Standards Association of Australia, 1979.** AS 2289, Glossary of Terms Used in the Plywood Industry.
- Plywood Association of Australia Ltd. (PAA), 1985,** Structural Plywood, Design Manual.

**Plywood Association of Australia Ltd. (PAA), 1994, New Joint Australian & New Zealand Standard for Structural Plywood.**

**Plywood Association of Australian Ltd., 1992, T&G Structural Plywood for Residential Flooring. Design Manual.**

**Standards Association of New Zealand, 1981, NZS 3615 Specification for Strength and Design Methods for Construction Plywood. Wellington, New Zealand.**

**Instituto Nacional de Normalización (INN), 1990, NCh 1198, Madera - Construcción en Madera - Cálculo. Santiago, Chile.**

**Haygreen J.G., and Bowyer J.L., 1989, Forest Products and Wood Science. An Introduction, Second Edition. Published Iowa State University Press.**

## NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

*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. BOLETINES DE PRECIOS FORESTALES.** Boletines N° 47, 48 y 49. Informes bimestrales para el segundo semestre de 1994 y primer semestre de 1995, con precios de productos Forestales: Silvícolas, Madera en Trozas, Polines y Postes, Maderas Tratadas, Maderas Aserradas, Maderas Dimensionadas y Elaboradas, Tableros y Chapas; y de Insumos Forestales: Energéticos y Lubricantes, Insumos para Manejo y Explotación de Bosques, Insumos para la Producción de Madera Aserrada y para Elaboración y Productos Químicos. Se incorpora también información sobre Tarifas de Fletes.

**2. GUÍA PARA LA MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE IMPREGNACIÓN.** Manual N° 18. División Industrias Forestales, Instituto Forestal. 1994. Se da en primer lugar una descripción del proceso de impregnación de la madera y de la distribución de los equipos en una planta impregnadora, para posteriormente revisar todos los aspectos de inspecciones y mantención preventiva, tanto en lo referente a los estanques de almacenamiento como a los circuitos de fluidos y al autoclave.

**3. SECADO DE MADERA DE RENOVALES DE ROBLE Y RAULÍ.** Informe técnico N° 134. División Industrias

Forestales, Instituto Forestal. 1994. Se entregan los resultados obtenidos en ensayos de secado natural y artificial de madera aserrada de roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus alpina*) proveniente de renovales de la precordillera andina de la IX Región.

**4. TÉCNICAS PARTICIPATIVAS EN LA CAPACITACIÓN DE PEQUEÑOS EMPRESARIOS MADEREROS.** Manual Metodológico para el Facilitador. Manual N° 20. División Estudios Económicos, Instituto Forestal. 1995. Se proporcionan en esta publicación nociones de economía, administración de empresas y comercialización, además de una guía metodológica para el desarrollo de estos temas, como una herramienta de apoyo a facilitadores o monitores que cumplen labores de capacitación en el área de gestión a pequeñas y medianas empresas.

**5. DISEÑO Y MONTAJE DE UN SECADOR DE MADERA DE BAJO COSTO.** Informe Técnico N° 133. División Industrias Forestales, Instituto Forestal. 1994. La publicación da una descripción de la construcción de un secador de madera de tipo convencional con una capacidad nominal de 25 m<sup>3</sup>, cuya cámara está conformada íntegramente por madera de

pino insigne. Posteriormente se presenta la evaluación técnica y económica de su funcionamiento. Se ofrecen optativamente junto a la publicación los planos detallados de estructura, red de distribución de vapor, etc.

**6. CENSO DE PLANTAS DE IMPREGNACIÓN.** Informe técnico N° 131. División Industrias Forestales, Instituto Forestal. 1994. Se presenta la información del censo de las plantas impregnadoras de madera que operan en el país, según ubicación geográfica, capacidad instalada y otros antecedentes.

## 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 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, informen 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 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 fuente 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 solo 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. No se dejará sangría al inicio de cada párrafo. 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, negritas y marginado a la izquierda. Inmediatamente después, dos espacios abajo y pegado al margen izquierdo, se ubicará el nombre del autor (o autores), 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 pegado al margen izquierdo. 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 autor (o autores), su profesión, institución y dirección, todo esto último en minúsculas y letra corriente. A continuación, en la misma página se incorporarán Resumen y Abstract.

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, negritas 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 y se antenpondrá 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, pero la primera letra de las palabras en mayúsculas. No se usarán sangrias a la izquierda. La 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 15 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 ubicados 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 Ciencias e Investigación Forestal Instituto Forestal, Huérfanos 554, 4° piso Santiago.

Se agradecerá enviar original y una copia, además del original en diskette 3 1/2", procesador de texto Word Perfect o Words.

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.



# Ciencia e Investigación Forestal

Volumen 9 N° 1  
Junio de 1995

## CONTENIDO

---

### Artículos

ÍNDICES DE SITIO PRELIMINARES PARA EUCALIPTO. Oscar Garcia.....	5
CRECIMIENTO HASTA LOS 42-44 MESES DE EDAD Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE 23 PROCEDENCIAS Y 196 FAMILIAS DE <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denh. EN 4 SITIOS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE. Carlos Alvear y Braulio Gutiérrez.....	23
ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CIPRÉS ( <i>Cupressus lusitanica</i> ) EN RELACIÓN AL FUSTE. Sandra Rodríguez y Marco Torres..	47
MODELOS DE CRECIMIENTO INDIVIDUAL PARA RENOVALES DE ROBLE ( <i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) (Oerst)) Y RAULÍ ( <i>Nothofagus alpina</i> (Poepp et Endl.)). Carlos Bahamondez.....	57
PROPIEDADES DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE <i>Pinus radiata</i> D. DON CON ASEKÍN DE LA MISMA ESPECIE. Andrés Berterreche, Hernán Poblete y Peter Niemz.....	73
INVESTIGACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SILVÍCOLA Y MANEJO DE RENOVALES DE <i>Nothofagus</i> EN LA ZONA CENTRO DE CHILE. Bernardo Avilés.....	91

### Apuntes

EDAD ÓPTIMA DE COSECHA. UNA DISCUSIÓN EN TORNO AL VALOR PRESENTE NETO (VAN) Y LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR). Iván Chacón.....	103
UN NUEVO MÉTODO PARA LA GERMINACIÓN DE <i>Nothofagus alpina</i> (Poepp. et Endl.) Oerst., RAULÍ. Ximena Calderón-Valtierra, A. Vega y C. Salazar.....	117
EL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL. Vicente Pérez.....	123

Notas Bibliográficas .....	141
----------------------------	-----

Reglamento de Publicación .....	143
---------------------------------	-----

---