

Volumen 10 N°1
Junio de 1996

C-3

ISSN 0716-5994

Ciencia e Investigación Forestal

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL



INFOR



INFOR

INSTITUTO FORESTAL



ISSN 0716 - 5994

VOLUMEN 10 N° 1

**CIENCIA
E
INVESTIGACION
FORESTAL**

JUNIO 1996

Propiedad Intelectual
Registro N° 97.998

**INSTITUTO FORESTAL - FILIAL CORFO
CHILE**



BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

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

| | | |
|---------------------------|--|---|
| Directora(I) | Verónica Loewe M. | |
| Editor | Alfredo López V. | |
| Consejo Editor | Jorge Cabrera P. Ute Kanegiesser Sch. Alfredo Unda P. Ana Maria Letelier F. Patricio Asenjo G. Sandra Perret D. | |
| Editores Asociados | 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 |
| Dirección Postal | Huérfanos 554 Casilla 3085. Santiago Chile. Fono 6930700 Fax 6381286 | |

El valor de la suscripción anual para 1996, que consta de dos ejemplares, es de \$18.000 incluido I.V.A., de \$10.000 para estudiantes y de US \$60,00 para el extranjero incluido el franqueo. El valor de cada ejemplar es de \$10.000, de \$5.000 para estudiantes y de US \$35,00 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 previa consulta, siempre que se cite como fuente a Ciencia e Investigación Forestal (INFOR - Chile).

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN CONTRACHAPADO DE COIGÜE FABRICADO EN CHILE.(*)

VICENTE PÉREZ GALAZ (**)

(*) Proyecto FONDECYT N° 1950295 - 1995

(**) 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 trabajo determina las propiedades físicas y mecánicas de un contrachapado estructural de coigüe (*Nothofagus dombey* Mirb. Blume) fabricado en Chile.*

El objetivo del estudio es conocer las Tensiones Admisibles de dicho contrachapado estructural a fin de incrementar el pequeño banco de datos que sobre el tema existe en el país y contar así los elementos que permitan realizar el cálculo estructural de elementos constructivos que incluyan a dicho material como parte constitutiva de vigas compuestas, paneles de muro, de cielo, y de piso, pilares compuestos, pisos, muros, cielos, arcos, marcos, etc.

El artículo revisa las características que debe tener el contrachapado estructural y describe el procedimiento de muestreo y posterior ensayo de las probetas extraídas de los tableros muestreados.

Las conclusiones establecen que el material usado tenía: Un contenido de humedad promedio de 9,1 %, densidades de referencia de 483; 523 y 650 kg/m³ para espesores de 9, 12 y 15 mm, respectivamente; y pesos por unidad de superficie de 4, ; 6,6 y 10 kg/m² para dichos espesores.

Las propiedades mecánicas se determinan con los tres criterios que existen para obtener las propiedades geométricas, a saber: La sección transversal bruta, la sección transversal efectiva y la sección transformada.

Se entregan, además, las Tensiones Admisibles calculadas con estos tres métodos y finalmente se establece que el contrachapado estructural de coigüe es comparable con la Clase Estructural F 14, que entrega la norma chilena NCh 1198.

Palabras Clave: Madera, Contrachapado, Propiedades.

ABSTRACT

The physical and mechanical properties of coigüe plywood manufactured in Chile are shown. The main characteristics of the plywood are analyzed. Sampling and testing procedures of the specimens extracted from the plywood boards are described.

The main objective of the study was to determine the basic working stresses of the structural plywood in order to increase the chilean data base on the subject and the use of this material in the design of composite beams, walls, ceilings, floors, composite columns, arches, structural frames, etc.

The material was characterized as follows: average moisture content 9,1 %, bulk densities of 483; 523 and 650 kg/m³ for the thicknesses of 9, 12 and 15 mm respectively, and weight per unit area of 4,7; 6,6 and 10 kg/m² for the same.

Mechanical properties were determined using the three existing criteria: bulk cross section, effective cross section and transformed cross section . Basic working stresses using the three criteria were obtained. Finally it is established that coigüe structural plywood meets structural class F14 of the chilean code NCh 1198.

Keywords: Wood, Plywood, Properties.

INTRODUCCIÓN

La madera, pese a ser uno de los materiales de construcción más antiguos con que cuenta la humanidad, mantiene su vigencia compitiendo exitosamente con materiales modernos y revolucionarios, como son aceros, hormigones y plásticos. Para ello, el hombre ha necesitado desarrollar nuevas técnicas de aprovechamiento de las maderas naturales con el objeto de obviar sus limitaciones físicas y dimensionales. Entre los productos de estas nuevas técnicas se encuentran los "tableros contrachapados"

Por tablero se entiende un elemento largo, ancho y delgado obtenido de la madera por medio de algún proceso industrial, a veces bastante complejo. Se utilizan para fines estructurales o decorativos, y se distinguen: los de madera contrachapada, los de fibra y los de partículas.

Para muchas aplicaciones los tableros presentan ventajas considerables respecto de la madera aserrada. Entre éstas pueden citarse las siguientes: uniformidad en la calidad, estabilidad dimensional, facilidad con que se puede trabajar con técnicas y herramientas sencillas, superficies de dimensiones amplias, facilidad con que pueden aplicarse acabados diversos y sencillez de aplicación. Además, en muchos casos sus propiedades resistentes (mecánicas) son superiores a las de la madera aserrada. Los tableros de madera tienen múltiples aplicaciones, entre las que destacan moldajes o encofrados, elementos estructurales o de terminación para viviendas, muebles, embalajes y embarcaciones.

Las ventajas que ofrecen han hecho que el consumo mundial de tableros haya aumentado más rápidamente que el de cualquier otro tipo de producto de madera, el incremento que ha sido más notable en las regiones donde la madera aserrada es cara o escasa. Así, en la actualidad, el consumo de tableros por habitante en los países desarrollados es de quince a veinte veces superior al de América Latina. Sin embargo, para el futuro, se estima que el consumo empezará a estabilizarse en Europa y Norteamérica, mientras se espera que en América Latina habrá un incremento gradual.

La madera contrachapada está constituida por tres o más hojas o "tulipas" unidas por una sustancia adhesiva y dispuestas de tal forma que las fibras de cada chapa estén perpendiculares respecto de las mismas de las chapas contiguas. Para evitar alabeos por falta de simetría el número de láminas generalmente es impar, colocándose pares de chapas a los lados de una hoja central, de tal manera que para cada lámina exista una opuesta, similar y paralela.

Las "tulipas" para fabricar el tablero contrachapado se obtienen "desenrollándolas" con un gran cuchillo, de trozas que se hacen girar sobre su eje. Además, se pueden obtener chapas mediante una guillotina o cuchilla que se desliza paralelamente a la superficie de corte del tronco, cuadrado o tablón, sin que haya giro. Las máquinas

usadas inicialmente para la fabricación del contrachapado requerían trozas de gran diámetro, buena calidad y forma regular. En la actualidad se han desarrollado procedimientos y productos que permiten aprovechar trozas de diámetro pequeño y calidad inferior.

La madera contrachapada puede fabricarse de diversos tipos decorativos y estructurales, variando el número y espesor de las chapas, la especie y calidad de la madera de las diversas capas, el acabado superficial y el tipo de adhesivo usado. Uno de los de mayor utilidad en la construcción es el contrachapado estructural.

Gracias a su constitución a base de chapas dispuestas de manera que las fibras de cada una queden perpendiculares a las de las tulipas contiguas, se mitiga uno de los inconvenientes de la madera : su anisotropía. En efecto, las resistencias del tablero contrachapado en sus dos direcciones principales son semejantes. Otras ventajas que se derivan de la estructura peculiar del contrachapado son su alta resistencia a la extracción lateral de clavos, pernos y tornillos, su estabilidad dimensional y su alta resistencia a los esfuerzos de corte que se originan en su plano. Esta última propiedad es ventajosa en el diseño de diafragmas y otros elementos estructurales semejantes. Por otra parte, el poco peso de los tableros y los componentes estructurales de contrachapado, así como la facilidad con que se ensamblan, permiten una notable rapidez en los procesos de construcción, sin necesidad de utilizar equipo pesado. De especial interés es la posibilidad de recurrir a sistemas de prefabricación para producir componentes estándares para muros, techumbres y pisos. Estos componentes, que pueden fabricarse en instalaciones sencillas que no requieren grandes inversiones, parecen ofrecer un gran potencial para la construcción de viviendas.

Como lo demuestra la experiencia de otros países, la madera contrachapada ofrece un sinnúmero de posibilidades y ventajas para la construcción. Una de las razones por las que su uso en Chile está restringido a aplicaciones no estructurales o estructuras de diseño empírico, como suele suceder con los moldajes, es la falta de información adecuada sobre las propiedades físicas y mecánicas del contrachapado disponible. Influye también la escasa experiencia de los calculistas para diseñar elementos estructurales de contrachapados. El uso racional y económico de estos tableros, de manera que su empleo sea el más apropiado según su función estructural y las condiciones de humedad a la que vayan a estar expuestos, requiere de un conocimiento adecuado y confiable de sus propiedades mecánicas y de la resistencia a la humedad de los adhesivos empleados, el desarrollo de métodos de diseño prácticos, y de una intensa labor de divulgación entre profesionales y técnicos.

En Chile se conocen las propiedades del contrachapado constituido de tulipas de tepe-olivillo, y de pino radiata. El objetivo del presente trabajo es agregar, a los datos anteriores, las propiedades del contrachapado estructural fabricado con chapas de coigüe (*Nothofagus dombeyi* Mirb. Blume) por la industria BOMASA.

REQUISITOS GENERALES DEL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL

Como no existen normas nacionales sobre la materia, se decidió adoptar el criterio establecido por las normas australianas para fijar los requisitos que debe cumplir el contrachapado estructural. Ellas señalan:

- El contrachapado estructural debe ser clasificado de acuerdo a la calidad, por apariencia, de las superficies de las caras exteriores (AS 2269)
- Las superficies de las caras exteriores del contrachapado estructural pueden ser: GRADO C y GRADO D y deben corresponder, respectivamente, a chapas de calidad C y calidad D.

En una publicación anterior (Pérez, 1995), se incluyeron las especificaciones de los distintos grados de calidad, por apariencia, de las chapas.

En cuanto al tipo de adhesivo, la norma australiana AS 2269 señala:

- Los contrachapados estructurales deben tener una unión TIPO A, usando un adhesivo a base de fenol-formaldehído.
- Los tableros de contrachapado estructural, fabricados con chapas exteriores de CALIDAD C y/o CALIDAD D y encolados con un TIPO A de unión, deben ser clasificados estructuralmente por uno de los dos procedimientos siguientes :
 - i) Método de la Densidad de las chapas,
 - ii) Método de Clasificación Mecánica.

El resultado que entregan estos métodos es la identificación de la Clase o Grado Estructural del tablero en estudio. Con dicho Grado Estructural se obtienen las Tensiones Admisibles aplicables al tablero.

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

- a) Nombre del fabricante o la marca registrada.
- b) La palabra "ESTRUCTURAL".
- c) El grado del aspecto de las chapas exteriores (la cara primero y luego la trascara)
Ejemplo : CC, CD ó DD.
- d) El tipo de encolado aplicado entre chapas. Ejemplo : UNION : TIPO A.
- e) Una indicación del Grado Estructural del tablero. Ejemplo: F7 ó una marca con el color apropiado.

- Los tableros deben cumplir, además, con las especificaciones que entregan las normas relacionadas con contenido de humedad, procesos constructivos, dimensiones, tolerancias y formas. Como tales especificaciones ya fueron entregadas en la publicación anterior (Pérez, 1995), no se incluirán en éste documento.

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ESTUDIADAS

Las propiedades físicas estudiadas para el tablero contrachapado estructural de coigüe, fueron :

- Densidad de Referencia y Densidad Nominal, en kg/m^3 .
- Contenido de Humedad, en %
- Peso por unidad de superficie, en kg/m^2 .

Las propiedades mecánicas determinadas para el tablero contrachapado estructural de coigüe, fueron:

- Flexión Estática con carga aplicada en la cara del tablero.
 - Tensión en el límite de proporcionalidad.
 - Módulo de Ruptura.
 - Módulo de Elasticidad.
- Flexión Estática con carga aplicada en el canto.
 - Tensión en el límite de proporcionalidad.
 - Módulo de Ruptura.
 - Módulo de Elasticidad.
- Compresión para carga paralela a las fibras de las caras exteriores.
 - Tensión Máxima.
- Compresión para carga perpendicular a las fibras de las caras exteriores.
 - Tensión Máxima.
- Tracción para carga paralela a las fibras de las caras exteriores.
 - Tensión Máxima.
- Tracción para carga perpendicular a las fibras de las caras exteriores.
 - Tensión Máxima.

- Cizalle a través del espesor, para carga aplicada en el canto, con dirección paralela a las fibras de la cara exterior.
 - Tensión Máxima.
- Cizalle a través del espesor, para carga aplicada en el canto, con dirección perpendicular a las fibras de la cara exterior.
 - Tensión Máxima.
- Cizalle entre chapas, para carga aplicada en el canto, con dirección perpendicular a las fibras de la cara exterior.
 - Tensión Máxima.
- Módulo de cizalle en el plano del tablero (G)

Todos los ensayos enumerados siguieron las especificaciones de las Normas de la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM), con excepción del ensayo de cizalle a través del espesor, para el cual se siguió la recomendación de los investigadores alemanes Möhler y Ehlbeck (1974).

METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

Material Usado

El material se seleccionó de las bodegas de BOMASA de tal manera que la calidad de las chapas ubicadas en las caras exteriores cumplieran con los requisitos de la norma australiana AS 2269. Además, se comprobó que el adhesivo usado fuese a base de fenol-formaldehído. Se postergó la clasificación estructural hasta el momento en que se hayan obtenido todas las propiedades físicas y mecánicas de los tableros contrachapados seleccionados.

Los tableros contrachapados usados para extraer las distintas probetas que especifican las normas ASTM, tenían las siguientes características:

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Especie | : 1 (Coigüe) |
| Dimensiones del tablero | : 1 (1220 * 2440 mm) |
| Espesores nominales | : 3 (9 mm, 12 mm y 15 mm) |
| Repeticiones de tableros | : 6 |
| TOTAL | : 18 tableros |



Metodología De Ensayo

Se describe, a continuación, la metodología de ensayo señalando las distintas etapas que se siguieron desde que los tableros ingresaron al laboratorio hasta que se procedió con el ensayo de las probetas.

Determinación de las Características Físicas de cada Tablero

A cada tablero se le controló sus dimensiones (espesor, ancho, largo) y su ortogonalidad. Se determinó, además, su peso, número de chapas que lo constituían y espesor de cada una de tales chapas. Estas medidas permitieron conocer el volumen de cada tablero y su densidad referencial.

Marcado y Obtención de las Probetas

Sobre la superficie de los tableros y con ayuda de una plantilla se marcaron las diferentes probetas, conservando la distribución de ellas en los distintos tableros. La identificación adoptada fue la siguiente:

V - W - X - Y - Z

en que:

| | | |
|-----|------|---|
| V : | FCAR | = Flexión con carga en la cara. |
| : | FCAN | = Flexión con carga en el canto. |
| : | C | = Compresión. |
| : | T | = Tracción. |
| : | CZES | = Cizalle a través del espesor. |
| : | CZIL | = Cizalle interlaminar. |
| : | G | = Módulo de Cizalle en el Plano. |
| W : | P | = Carga paralela a fibra cara exterior. |
| : | N | = Carga normal a fibra cara exterior. |
| X : | E1 | = Espesor del tablero : 9 mm. |
| : | E2 | = Espesor del tablero : 12 mm. |
| : | E3 | = Espesor del tablero : 15 mm. |
| Y : | T1 | = Tablero 1A y Tablero 1B. |
| : | T2 | = Tablero 2A y Tablero 2B. |
| : | T3 | = Tablero 3A y Tablero 3B. |

Z : Probeta, repetición 1,2,...5.

De esta forma la probeta identificada con la expresión:

FCAR - N - E2 - T3 - 3.

significa que se trata de la probeta sometida a Flexión, con carga aplicada en la cara de dirección perpendicular a las fibras de su cara exterior, cuyo espesor es 12 mm, proveniente del Tablero 3, repetición N° 3.

En todos los ensayos es necesario aplicar cargas y, en la mayoría de ellos, se requiere conocer además la deformación que se origina en la probeta para cada carga aplicada. La carga fue ejercida mediante una bomba hidráulica manual que fue conectada a un gato hidráulico. Para medir la deformación se instaló un dial, apoyado en la probeta, bajo el punto de aplicación de la carga.

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

Para medir la carga se instala una celda de carga bajo el gato hidráulico de tal manera que al ser aplicada la celda envíe una señal (en milivolts) al computador. Para la deformación, el sistema consiste en una vaina hueca por la cual se desliza una varilla metálica que al descender genera una diferencia de potencial (volts), que también es leída por el computador. Dado que en el tiempo cero existe una deformación y una carga inicial, es necesario calibrar el computador con estos valores. La conexión del dial de deformación y la celda de carga al computador se realiza a través de una interfase. Para facilitar el trabajo, es posible transformar las unidades eléctricas obtenidas en unidades de carga y deformación, por ejemplo: kg-f y mm, usando un factor de escala entregado junto con el programa computacional. De esta manera los datos que se archivan quedan en Kg-f y mm. Además, se requieren de ciertos parámetros concernientes al formato de presentación y captación de datos. Es decir se ingresa la duración del ensayo, los canales abiertos para la entrada de la información, el nombre del archivo en el que se guardarán los datos y los valores iniciales de carga y deformación.

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

Todos los ensayos ejecutados en la fase experimental se realizaron en el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH). El equipo principal de esta fase consistió en un Marco Universal de Ensayo, metálico, el cual fue financiado con aportes de FONDECYT y de la USACH.

El objetivo de la fase experimental es la obtención y tabulación de los datos que entregan los distintos ensayos de las 612 probetas contempladas en el presente estudio, con el fin de calcular las propiedades mecánicas (tensiones en el límite de proporcionalidad, las tensiones máximas, el módulo de elasticidad y el módulo de cizalle en el plano del tablero (G)) de los diferentes espesores de tableros seleccionados, lo cual constituye la meta final de este trabajo.

El hecho de incluir el computador como herramienta de experimentación, permite obtener una mayor cantidad de datos y, por lo tanto, analizar con mayor precisión cada ensayo. Otra ventaja es la posibilidad de medir las deformaciones que se producen al momento en que la probeta alcanza la ruptura, lo cual no es siempre posible con el método tradicional que implicaba el uso de un dial mecánico.

RESULTADOS OBTENIDOS

Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de los tableros se determinó en muestras extraídas de los trozos de probetas ensayadas que provenían de un mismo tablero. Tal determinación se realizó por el método de secado en estufa y en el cálculo de la humedad se utilizó la expresión:

$$H = \frac{P_o}{P_s} * 100 \quad (\%)$$

en que :

P_o = peso original de la muestra después del ensayo, g.

P_s = peso anhidro de la muestra después del ensayo, g.

En el Cuadro N° 1 se incluyen los valores medios que resultaron con el procedimiento antes descrito:

BIBLIOTECA INSTITUTO FORESTAL

Cuadro N° 1
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS TABLEROS

| ESPEJOR NOMINAL (mm) | CANTIDAD DE TABLEROS ENSAYADOS (N°) | CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%) |
|-------------------------|--|--------------------------------------|
| 9 | 3 | 8,7 |
| 12 | 3 | 9,0 |
| 15 | 3 | 9,7 |

Densidad De Los Tableros.

La densidad de los tableros se determinó en las muestras ocupadas para la determinación del contenido de humedad, usándose las siguientes expresiones:

$$\text{Densidad de Referencia: } \rho_r = \frac{P_o}{V_o} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{Densidad Básica: } \rho_n = \frac{P_s}{V_o} \quad (\text{g/cm}^3)$$

en que:

P_o = peso original de la muestra antes del ensayo, g.

P_s = peso anhidro de la muestra después del ensayo, g.

V_o = volumen original de la muestra antes del ensayo, cm³.

En el Cuadro N° 2 se incluyen los valores promedios de ambos tipos de densidades, en kg/m³.

Cuadro N° 2
DENSIDAD DE LOS TABLEROS

| ESPEJOR NOMINAL (mm) | CANTIDAD DE TABLEROS (N°) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | |
|-------------------------|------------------------------|---|--------|
| | | REFERENCIA | BÁSICA |
| 9 | 3 | 483,3 | 441,1 |
| 12 | 3 | 523,4 | 476,5 |
| 15 | 3 | 649,9 | 586,8 |

Peso por Unidad de Superficie

El peso por unidad de superficie se obtuvo con los datos determinados en los distintos tableros usados, a saber: su peso y las dimensiones del plano del tablero. Los resultados de este procedimiento se incluyen en el Cuadro Nº3.

Cuadro Nº 3.
PESO POR UNIDAD DE SUPERFICIE DE LOS TABLEROS.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | CANTIDAD DE TABLEROS (Nº) | PESO POR UNIDAD DE SUPERFICIE (kg/m ²) |
|----------------------|---------------------------|--|
| 9 | 3 | 4,72 |
| 12 | 3 | 6,55 |
| 15 | 3 | 9,97 |

Flexión con Carga Aplicada sobre la Cara

Los resultados que se entregan para este ensayo están calculados con la sección transversal efectiva, es decir considerando como secciones efectivas de una sección transversal, sólo a las chapas cuyas fibras tienen la misma dirección de los esfuerzos principales, o dicho de otra forma, a las chapas que tienen sus fibras con dirección paralela a la luz de la viga.

Los valores señalados se incluyen en los Cuadros Nº 4 y Nº 5.

Cuadro Nº 4
RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CARGA APLICADA EN LA CARA.
DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS DE CARAS EXTERIORES, PARALELA A LA LUZ.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADIGRAFOS (-) | TENSIÓN EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (kg/cm ²) | MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (t/cm ²) |
|----------------------|------------------|--|---|--|
| 9 | Promedio | 796,7 | 960,9 | 132,7 |
| | D. Estándar | 68,15 | 181,73 | 12,44 |
| | C. de Variac. | 8,6 % | 18,9 | 9,4 % |
| | N | 14 | 14 | 14 |
| 12 | Promedio | 692,7 | 889,2 | 116,0 |
| | D. Estándar | 80,41 | 109,85 | 15,44 |
| | C. de Variac. | 11,6 % | 12,4 % | 13,3 % |
| | N | 15 | 15 | 15 |
| 15 | Promedio | 721,4 | 991,1 | 145,2 |
| | D. Estándar | 156,33 | 109,18 | 17,71 |
| | C. de Variac. | 21,7 % | 11,0 % | 12,2 % |
| | N | 15 | 15 | 15 |

Cuadro N° 5

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CARGA APLICADA EN LA CARA. DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS DE CARAS EXTERIORES, A LA LUZ.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIÓN EN EL LÍMITE DE PROPORCIONAL (kg/cm ²) | MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (t/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|---|--|---|
| 9 | Promedio | 721,4 | 1361,9 | 143,0 |
| | D. Estándar | 156,3 | 310,4 | 31,54 |
| | C. de Variac. | 21,7 % | 22,8 | 22,1 % |
| | N | 15 | 15 | 15 |
| 12 | Promedio | 835,7 | 1545,0 | 157,3 |
| | D. Estándar | 99,11 | 256,0 | 15,0 |
| | C. de Variac. | 11,9 % | 16,6 % | 9,6 % |
| | N | 15 | 15 | 15 |
| 15 | Promedio | 766,0 | 1346,4 | 164,4 |
| | D. Estándar | 120,8 | 164,7 | 29,1 |
| | C. de Variac. | 15,8 % | 12,2 % | 17,7 % |
| | N | 15 | 15 | 15 |

Flexión Con Carga Aplicada En El Canto

Para el desarrollo de estos ensayos se utilizaron las recomendaciones de la norma ASTM 3043-90. Además, basados en trabajos anteriores (De Urruticochea, 1984),(Alegria y González, 1990), se agregó otra variable al estudio, ensayando probetas con distintas relaciones luz/altura. Esto último hizo aumentar el número de probetas a 162.

A la variable $k = \text{luz/altura}$ se le dieron los valores 10, 14 y 18. En este caso la luz de ensayo varía, manteniéndose constante las otras dimensiones. Al igual que el ensayo de flexión en la cara, el estudio directo de las curvas carga - deformación permitió obtener el módulo elástico, el módulo de ruptura y la tensión en el límite de proporcionalidad.

Los resultados de este ensayo se incluyen en los Cuadros N° 6 y N° 7

Compresión

Los ensayos se realizaron siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM D 3501-1987 y la finalidad fue determinar la Tensión Máxima a la compresión del material en estudio. Se ensayaron un total de 90 probetas. Los resultados se incluyen en los Cuadros N° 8 y N° 9.

Tracción

El objetivo de este ensayo fue determinar la Tensión Máxima. Las pruebas se realizaron siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D 3500-90. Se ensayaron un total de 90 probetas divididas según espesor, tablero y dirección de la fibra de la cara exterior.

Las dimensiones de las probetas debieron modificarse para ajustarlas a la máquina de ensayo disponible en el laboratorio.

Cuadro N°6

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CARGA APLICADA EN EL CANTO.
DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS DE CARAS EXTERIORES PARALELA A LA LUZ.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | RAZÓN $k = \text{luz}/\text{alt.}$ (-) | ESTADÍGRAFOS (-) | TENSIÓN EN EL LÍMITE (kg/cm ²) | MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (t/cm ²) |
|----------------------|--|------------------|--|---|--|
| 9 | 10 | Promedio | 558,7 | 882,7 | 85,80 |
| | | D. Estándar | 147,8 | 223,9 | 36,72 |
| | | C.de Variac. | 26,4 % | 25,4 % | 42,8 % |
| | 14 | Promedio | 604,8 | 791,1 | 80,49 |
| | | D. Estándar | 148,6 | 100,3 | 6,35 |
| | | C.de Variac. | 24,6 % | 12,7 % | 7,9 % |
| 18 | Promedio | 755,5 | 921,3 | 121,89 | |
| | D. Estándar | 95,8 | 73,5 | 51,14 | |
| | C.de Variac. | 12,7 % | 8,0 % | 42,0 % | |
| 12 | 10 | Promedio | 717,3 | 844,0 | 105,92 |
| | | D. Estándar | 195,9 | 90,0 | 25,23 |
| | | C.de Variac. | 27,3 % | 10,6 % | 23,8 % |
| | 14 | Promedio | 626,1 | 929,4 | 222,47 |
| | | D. Estándar | 131,8 | 55,2 | 37,77 |
| | | C.de Variac. | 21,1 % | 5,9 % | 17,0 % |
| 18 | Promedio | 588,1 | 909,6 | 218,5 | |
| | D. Estándar | 143,0 | 57,7 | 64,26 | |
| | C.de Variac. | 24,3 % | 6,3 % | 29,4 % | |
| 15 | 10 | Promedio | 702,9 | 861,1 | 134,13 |
| | | D. Estándar | 123,5 | 117,6 | 63,17 |
| | | C.de Variac. | 17,6 % | 13,7 % | 47,1 % |
| | 14 | Promedio | 743,1 | 953,2 | 209,07 |
| | | D. Estándar | 131,6 | 187,4 | 83,58 |
| | | C.de Variac. | 17,7 % | 19,7 % | 40,0 % |
| 18 | Promedio | 531,4 | 837,7 | 161,55 | |
| | D. Estándar | 141,9 | 69,9 | 74,06 | |
| | C.de Variac. | 26,7 % | 8,3 % | 45,8 % | |

Cuadro N°7

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA CON CARGA APLICADA EN EL CANTO.
DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS DE CARAS EXTERIORES NORMAL A LA LUZ.**

| ESPESOR NOMINAL (mm) | RAZÓN $k = \text{luz}/\text{alt.}$ (-) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIÓN EN EL LÍMITE (kg/cm^2) | MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm^2) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (t/cm^2) |
|----------------------|--|------------------|--|---|--|
| 9 | 10 | Promedio | 606,3 | 807,9 | 92,68 |
| | | D. Estándar | 231,3 | 227,4 | 24,12 |
| | | C.de Variac. | 38,2 % | 28,1 % | 26,0 % |
| | 14 | Promedio | 664,5 | 996,9 | 229,84 |
| | | D. Estándar | 190,4 | 204,6 | 94,59 |
| | | C.de Variac. | 28,6 % | 20,5 % | 41,2% |
| 18 | Promedio | 985,4 | 1113,6 | 114,06 | |
| | D. Estándar | 136,4 | 146,0 | 15,14 | |
| | C.de Variac. | 13,8 % | 13,1 % | 13,3 % | |
| 12 | 10 | Promedio | 628,9 | 1004,4 | 131,46 |
| | | D. Estándar | 239,3 | 99,2 | 45,433 |
| | | C.de Variac. | 38,0 % | 9,9 % | 34,6 % |
| | 14 | Promedio | 604,6 | 995,6 | 213,54 |
| | | D. Estándar | 175,6 | 100,7 | 24,53 |
| | | C.de Variac. | 29,0 % | 10,1 % | 11,5 % |
| 18 | Promedio | 628,7 | 1063,2 | 272,52 | |
| | D. Estándar | 157,9 | 169,1 | 50,37 | |
| | C.de Variac. | 25,1 % | 15,9 % | 18,5 % | |
| 15 | 10 | Promedio | 655,1 | 1003,6 | 162,17 |
| | | D. Estándar | 132,4 | 59,1 | 65,65 |
| | | C.de Variac. | 20,2 % | 5,9 % | 40,5 % |
| | 14 | Promedio | 746,4 | 1010,2 | 152,35 |
| | | D. Estándar | 199,0 | 77,8 | 72,92 |
| | | C.de Variac. | 26,7 % | 7,7 % | 47,9 % |
| 18 | Promedio | 675,7 | 901,1 | 149,24 | |
| | D. Estándar | 66,9 | 105,4 | 70,14 | |
| | C.de Variac. | 9,9 % | 11,7 % | 47,0 % | |

Cuadro N° 8

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN CON CARGA PARALELA A LAS FIBRAS DE
LAS CARAS EXTERIORES.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 563,2 |
| | D. Estándar | 58,5 |
| | C. de Variación | 10,4 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 512,7 |
| | D. Estándar | 62,7 |
| | C. de Variación | 12,2 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 571,1 |
| | D. Estándar | 59,7 |
| | C. de Variación | 10,5 % |
| | N | 15 |

Cuadro N° 9

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN CON CARGA NORMAL LAS FIBRAS DE
LAS CARAS EXTERIORES.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 554,1 |
| | D. Estándar | 100,0 |
| | C. de Variación | 18,1 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 692,0 |
| | D. Estándar | 86,7 |
| | C. de Variación | 12,5 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 591,9 |
| | D. Estándar | 47,5 |
| | C. de Variación | 8,0 % |
| | N | 15 |

Cuadro N° 10

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN CON CARGA PARALELA A LAS FIBRAS DE LAS CARAS EXTERIORES.

| ESPELOR NOMINAL (mm) | ESTADIGRAFOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 565,9 |
| | D. Estándar | 68,6 |
| | C. de Variación | 12,1 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 538,2 |
| | D. Estándar | 56,4 |
| | C. de Variación | 10,5 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 54071,1 |
| | D. Estándar | 49,1 |
| | C. de Variación | 9,1 % |
| | N | 15 |

Cuadro N° 11

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN CON CARGA NORMAL A LAS FIBRAS DE LAS CARAS EXTERIORES.

| ESPELOR NOMINAL (mm) | ESTADIGRAFOS (m) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 601,3 |
| | D. Estándar | 70,2 |
| | C. de Variación | 11,7 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 713,9 |
| | D. Estándar | 79,2 |
| | C. de Variación | 11,1 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 627,7 |
| | D. Estándar | 59,7 |
| | C. de Variación | 9,5 % |
| | N | 15 |

Cizalle a Través del Espesor

El objetivo de este ensayo fue determinar la Tensión Máxima de cizalle a través del espesor. El método y las dimensiones de las probetas corresponden a recomendaciones de los investigadores alemanes Möhler y Ehlbeck (1974). Durante el ensayo, la probeta es cargada en el canto superior, distribuyendo la carga en el tercio central, mientras descansa sobre dos placas ubicadas en los tercios extremos. Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en los Cuadros N° 12 y N° 13

Cuadro N° 12

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CIZALLE A TRAVÉS DEL ESPESOR, CON CARGA PARALELA A LAS FIBRAS DE LAS CARAS EXTERIORES, USANDO LA SECCIÓN TRANSVERSAL BRUTA

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 86,3 |
| | D. Estándar | 9,4 |
| | C. de Variación | 10,9 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 96,0 |
| | D. Estándar | 16,2 |
| | C. de Variación | 16,8 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 98,6 |
| | D. Estándar | 11,1 |
| | C. de Variación | 11,3 % |
| | N | 15 |

Cuadro N° 13

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CIZALLE A TRAVÉS DEL ESPESOR, CON CARGA NORMAL A LAS FIBRAS DE LAS CARAS EXTERIORES, USANDO LA SECCIÓN TRANSVERSAL BRUTA.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 106,1 |
| | D. Estándar | 9,4 |
| | C. de Variación | 8,8 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 112,8 |
| | D. Estándar | 20,4 |
| | C. de Variación | 18,1 % |
| | N | 13 |
| 15 | Promedio | 119,8 |
| | D. Estándar | 15,0 |
| | C. de Variación | 12,5 % |
| | N | 15 |

Cizalle Interlaminar o a través del Espesor, en un Plano Paralelo a las Caras Exteriores

El propósito del ensayo fue determinar la Tensión Máxima de cizalle interlaminar. Los ensayos se hicieron a las indicaciones de la norma ASTM D 2718-90.

Para realizar las pruebas, una probeta de forma rectangular es adherida por sus caras con un adhesivo epóxico entre dos placas de acero, las que tienen uno de sus bordes afilados. Estos se proyectan más allá del extremo de la probeta. El ensayo se realiza cargando los bordes afilados con compresión, aumentando la carga en forma gradual. Es importante destacar que las probetas sólo se ensayan con la fibra de la cara exterior perpendicular a la dirección de la carga. Los resultados de este ensayo se presentan en el Cuadro N° 14.

Cuadro N° 14

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CIZALLE INTERLAMINAR CON CARGA NORMAL A LAS FIBRAS DE LAS CARAS EXTERIORES, USANDO LA SECCIÓN TRANSVERSAL BRUTA.

| ESPESOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | TENSIONES MÁXIMAS (kg/cm ²) |
|-------------------------|---------------------|--|
| 9 | Promedio | 33,0 |
| | D. Estándar | 4,7 |
| | C. de Variación | 14,2 % |
| | N | 15 |
| 12 | Promedio | 24,2 |
| | D. Estándar | 6,7 |
| | C. de Variación | 27,7 % |
| | N | 15 |
| 15 | Promedio | 27,1 |
| | D. Estándar | 2,1 |
| | C. de Variación | 7,9 % |
| | N | 15 |

Módulo de Cizalle en el Plano

Para determinar el Módulo de Corte de materiales ortotrópicos, como el contrachapado, existe un método de ensayo en la norma ASTM 3044-86. La ventaja de este procedimiento es que permite conocer el Módulo de Corte en el plano en forma directa, sin necesidad de conocer el Módulo Elástico.

El procedimiento consiste en torcer una placa cuadrada del material, aplicando la carga en dos vértices opuestos y sujetándola en los otros dos. Es necesario registrar en cada instante la carga aplicada y la deformación relativa que sufren las dos diagonales de la placa.

Los resultados obtenidos en dicho ensayo se incluyen en el Cuadro N° 15.

Cuadro Nº 15

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DESTINADOS A DETERMINAR EL MÓDULO DE CORTE (G).

| ESPEJOR NOMINAL (mm) | ESTADÍSTICOS (-) | VALOR MÁXIMO (kg/cm ²) |
|----------------------|--------------------|------------------------------------|
| 9 | Promedio | 12 119,4 |
| | D. Estándar | 1 066,5 |
| | Coef. de Variación | 8,8 % |
| 12 | Promedio | 6 217,2 |
| | D. Estándar | 300,8 |
| | Coef. de Variación | 4,8 % |
| 15 | Promedio | 5 402,1 |
| | D. Estándar | 305,6 |
| | Coef. de Variación | 5,7 % |

Tensiones Básicas del Contrachapado de Coigüe

Para Secciones Transversales Efectivas y Transformadas.

Se elegirá el método adoptado por la American Plywood Association (APA). Ella deduce las Tensiones Básicas del contrachapado considerando el valor mínimo, calculado con una confiabilidad del 95 % ($R_{\min,5\%}$), para las propiedades resistentes, y el valor promedio para las características elásticas determinadas en el laboratorio.

Los factores de ajuste (n), que refieren las propiedades establecidas de los ensayos de corta duración a una duración acumulada total de la carga de 10 años, (duración "normal"), resultan los mismos que los usados para la madera aserrada (NCh 1198). Sin embargo, los factores de seguridad inherentes a efectos de fabricación y utilización no pueden ser los mismos, especialmente para aquellas características del contrachapado que dependen en gran medida del proceso de elaboración, como son las propiedades de resistencia al cizalle.

Las Tensiones Básicas (F_b) quedan definidas, entonces, por la relación :

$$F_b = \frac{R_{\min,5\%}}{n} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

En el Cuadro Nº 16 se indican los Factores de Ajuste considerados por la APA en el proceso de determinación de las Tensiones Básicas de la madera natural, aplicables al contrachapado.

Cuadro N° 16
FACTORES DE AJUSTE TOTAL.

| PROPIEDAD DE LA MADERA ASERRADA | FACTOR DE MODIFICACIÓN POR DURACIÓN DE CARGA | COEFICIENTE DE SEGURIDAD TOTAL | FACTOR DE AJUSTE TOTAL |
|---------------------------------|--|--------------------------------|------------------------|
| Flexión y Tracción | 1,6 | 1,4 | 2,24 |
| Compresión en el canto | 1,5 | 1,7 | 2,55 |
| Cizalle | 1,6 | 2,8 | 4,48 |
| Compresión normal | - | - | - |
| Módulo de Corte | - | - | E/20 |

Cabe hacer notar que el módulo de elasticidad aparente en flexión estática (E_f), se deduce de ensayos realizados en probetas estándar ASTM de madera aserrada, para la relación:

$$\text{luz/altura} = l/h = 14$$

$$\text{y su valor es } 105\,500 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

El módulo elástico así determinado incorpora implícitamente las deformaciones por corte en la expresión que entrega la deformación por flexión, cuya magnitud, para relaciones $E/G = 20$, ascienden aproximadamente al 10 % de las deformaciones originadas por la flexión. En consecuencia, el E_f tenderá a subestimar las deformaciones de elementos con relaciones $l/h < 14$ y a sobre estimarlas, en el caso contrario. En las aplicaciones habituales resulta $l/h > 14$, por lo que resulta práctico y conservador usar el módulo elástico aparente, deducido de los ensayos de flexión en madera aserrada. Cuando $l/h < 14$, convendrá usar el E_f aparente incrementado en un 10 % y evaluar las deformaciones por flexión y corte en forma separada, mediante las relaciones habituales de la Resistencia de Materiales.

Para los usos normales del contrachapado, como cubierta de piso o techos, donde el material queda sometido a flexión en su plano, se puede estimar la Tensión Básica a cizalle interlaminar como:

$$F_{b,cz,i} = \frac{F_{b,cz}}{2,5} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Cuando se prevean concentraciones de tensiones, como por ejemplo en la superficie de contacto entre alma y alas de una viga compuesta con alma de contrachapado, o bien en los bordes exteriores de paneles nervados, la APA recomienda reducir dicha tensión en un 50 %.

De esta forma resulta que las Tensiones Básicas del coigüe son las incluidas en el Cuadro N°17.

Cuadro N° 17

TENSIONES BASICAS DEL CONTRACHAPADO DE COIGÜE, DETERMINADAS CON LA SECCIÓN TRANSVERSAL EFECTIVA.

| ENSAYO O SOLICITACIÓN* | | ESPESOR NOMINAL | $R_{m,0.2}$ | FACTOR DE AJUSTE | TENSIÓN BÁSICA | OBSERVACIONES |
|---|---------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|---------------|
| (-) | | (mm) | (kg/cm ²) | (-) | (kg/cm ²) | |
| FLEXION CON CARGA APLICADA EN LA CARA | Paralel | 9 | 661,95 | 2,24 | 295,5 | Valor mínimo |
| | Normal | | 851,29 | | 380,0 | |
| | Paralel | 12 | 708,40 | 2,24 | 316,3 | |
| | Normal | | 903,57 | | 403,4 | |
| | Paralel | 15 | 811,50 | 2,24 | 362,3 | |
| | Normal | | 1075,47 | | 480,1 | Valor máximo |
| FLEXION CON CARGA APLICADA EN EL CANTO ** | Paralel | 9 | 626,11 | 2,24 | 279,5 | Valor mínimo |
| | Normal | | 660,33 | | 294,8 | |
| | Paralel | 12 | 838,60 | 2,24 | 374,4 | |
| | Normal | | 829,95 | | 370,5 | |
| | Paralel | 15 | 644,93 | 2,24 | 287,9 | |
| | Normal | | 882,22 | | 393,8 | Valor máximo |
| COMPRESION CON CARGA APLICADA EN EL CANTO | Paralel | 9 | 466,97 | 2,55 | 183,1 | |
| | Normal | | 389,69 | | 152,8 | Valor mínimo |
| | Paralel | 12 | 409,56 | 2,55 | 160,6 | |
| | Normal | | 549,38 | | 215,4 | Valor máximo |
| | Paralel | 15 | 472,89 | 2,55 | 185,4 | |
| | Normal | | 513,76 | | 201,5 | |
| TRACCION CON CARGA APLICADA EN EL CANTO | Paralel | 9 | 453,05 | 2,24 | 202,2 | |
| | Normal | | 485,82 | | 216,9 | |
| | Paralel | 12 | 445,42 | 2,24 | 198,8 | Valor mínimo |
| | Normal | | 583,62 | | 260,5 | Valor máximo |
| | Paralel | 15 | 459,33 | 2,24 | 205,3 | |
| | Normal | | 529,49 | | 236,4 | |

(Continúa)

Cuadro N° 17 (Continuación)

| ENSAYO O SOLICITACIÓN* | ESPESOR NOMINAL | $R_{m,95}$ | FACTOR DE AJUSTE | TENSIÓN BÁSICA | OBSERVACIONES |
|--|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|---------------|
| (-) | (mm) | (kg/cm ²) | (-) | (kg/cm ²) | |
| CIZALLE A TRAVES DEL ESPESOR | Paralel | 70,84 | | 15,8 | |
| | | 9 | 4,48 | | |
| | Normal | 90,64 | | 20,2 | |
| | Paralel | 69,35 | 4,48 | 15,5 | Valor mínimo |
| | Normal | 79,24 | | 17,7 | |
| | Paralel | 80,34 | 4,48 | 17,9 | |
| | 15 | 95,13 | | 21,2 | Valor máximo |
| CIZALLE INTERLAMINAR | 9 | 25,27 | 2,5 | 10,1 | Valor máximo |
| | 12 | 14,37 | 2,5 | 5,7 | Valor mínimo |
| | 15 | 23,65 | 2,5 | 9,5 | |
| MODULO ELASTICO FLEXION CON CARGA APLICADA EN LA CARA | Paralel | 132 700 | | 132 700 | |
| | | 9 | 1,0 | | |
| | Normal | 143 000 | | 143 000 | |
| | Paralel | 116 000 | 1,0 | 116 000 | Valor mínimo |
| | Normal | 147 000 | | 147 000 | |
| | Paralel | 145 200 | 1,0 | 145 200 | |
| | 15 | 164 200 | 1,0 | 164 200 | Valor máximo |
| | Paralel | 80 490 | | 80 490 | Valor mínimo |
| MÓDULO ELÁSTICO FLEXIÓN CON CARGA APLICADA EN EL CANTO | | 9 | 1,0 | | |
| | Normal | 229 840 | | 229 840 | |
| | Paralel | 222 470 | 1,0 | 222 470 | |
| | Normal | 213 540 | | 213 540 | |
| | Paralel | 290 070 | 1,0 | 290 070 | Valor máximo |
| | Normal | 152 350 | | 152 350 | |
| MÓDULO DE (G) | 9 | 10 365 | 1,0 | 10 365 | Valor máximo |
| | 12 | 5 722 | 1,0 | 5 722 | |
| | 15 | 4 899 | 1,0 | 4 899 | Valor mínimo |

(*) Paralel : Fibra cara exterior paralela a la luz.

Normal : Fibra cara exterior perpendicular a la luz.

(**) Razón luz/altura = $l/h = 14$

Razones de Resistencia

Los máximos defectos permitidos para el peor nivel de chapas que conforman cada tablero afectarán adicionalmente sus propiedades resistentes. La incorporación de este

efecto permite evaluar las tensiones admisibles tomando como parámetro las razones de resistencia.

Los factores de reducción de la resistencia por defectos permitidos, aplicados por la APA, se incluyen en el Cuadro N° 18.

Cuadro N° 18
RAZONES DE RESISTENCIAS APLICADAS.

| PROPIEDAD | NIVEL DE TENSIONES | | |
|----------------------|--------------------|------|------|
| | S1 | S2 | S3 |
| FLEXIÓN | 0,60 | 0,50 | 0,50 |
| COMPRESIÓN | 0,80 | 0,75 | 0,75 |
| TRACCIÓN | 0,60 | 0,50 | 0,50 |
| CIZALLE | 1,00 | 1,00 | 0,85 |
| CIZALLE INTERLAMINAR | 1,00 | 1,00 | 0,90 |
| COMPRESIÓN NORMAL | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| MÓDULOS ELÁSTICOS | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

El nivel S1 es aplicable a todo contrachapado compuesto por tulipas N, A ó C y el nivel S2 a las chapas B, C taponeado ó D, encoladas con adhesivo tipo exterior.

El nivel S3 es aplicable a los contrachapados de tulipas B, C taponeado y D, encoladas con adhesivo tipo interior y por lo tanto, no aptos para ambientes húmedos, ni para tableros contrachapados estructurales.

El caso que se analiza (coigüe) corresponde a un nivel de tensiones S2 pues, se consideraron chapas tipo C y D, encoladas con adhesivo tipo exterior.

Tensiones Admisibles

En el Cuadro N° 19 se incluye el cálculo de las Tensiones Admisibles, para el Estado Seco ($H < 16\%$), es decir, cuando se espera que el contrachapado no supere en servicio, en forma continua o permanente, una humedad propia de un 16%.

Cuadro N° 19

VALORES DE LAS TENSIONES ADMISIBLES CALCULADAS PARA EL CONTRACHAPADO DE COIGÜE

| PROPIEDAD | TENSIONES BÁSICAS | | | RAZÓN DE RESISTENCIA (-) | TENSION ADMISIBLE (kg/cm ²) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---|
| | CALCULAD (kg/cm ²) | PROPUEST (kg/cm ²) | ELEGIDA (kg/cm ²) | | |
| FLEXIÓN | 279,5 | 280,0 | 280,0 | 0,50 | 140,0 |
| COMPRESIÓN | 152,8 | 152,8 | 152,8 | 0,75 | 115,0 |
| TRACCION | 198,8 | 200,0 | 200,0 | 0,50 | 100,0 |
| CIZALLE | 15,5 | 15,5 | 15,5 | 1,00 | 15,5 |
| CIZALLE INTERLAMIN | 5,7 | 6,2(1) | 6,2 | 1,00 | 6,2 |
| Ef | 116000 | 105500 (2) | 105500 | 1,00 | 105 500 |
| G | 4 899 | 5 275 | 5 275 (3) | 1,00 | 5 275 |

- NOTAS: (1) Estimado como el valor básico para el cizalle a través del espesor, dividido por el factor 2,5 para usos normales como pisos, cielos, techumbres, es decir, con sollicitaciones de flexión en su plano. (Procedimiento de la APA)
- (2) Estimado como el módulo de elasticidad en flexión, determinado en madera natural de coigüe, usando la probeta estándar ASTM, en estado seco (APA).
- (3) Estimado como $E_f/20$, según recomendaciones de la APA.

Estas Tensiones Admisibles se aplican al contrachapado de coigüe, fabricado por BOMASA, en estado seco ($H < 16\%$), para cargas normales (duración 10 años), sin tratamiento de ignifugos.

Factores de Modificación de Aplicación General

Si las condiciones de servicio son distintas a las señaladas anteriormente, se deberá recurrir a los Factores de Modificación de Aplicación General, los que deben considerar las reales condiciones de uso y servicio del tablero.

Factor de Modificación por Duración de Carga (K_D)

El valor del factor de modificación por duración de carga (K_D), se obtiene de la expresión :

$$K_D = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295$$

donde: t = duración de la carga, en segundos.

Factor de Modificación por Humedad (K_h).

Si el contrachapado tendrá una humedad de servicio igual o mayor que 16 % ($H > 16\%$), el factor de modificación se obtiene del Cuadro N° 20.

Factor de Modificación por Tratamiento Químico.

Para los contrachapados sometidos a tratamientos de preservantes a vacío y presión, no es necesaria una modificación de las tensiones admisibles. Sin embargo, para los tratamientos con productos ignífugos, se recomienda reducir las tensiones admisibles en un 16.7 % y las propiedades elásticas en un 10.0 % .

Cuadro N° 20
FACTORES DE MODIFICACIÓN POR HUMEDAD PARA $H > 16\%$

| PROPIEDAD | F. DE M. POR HUMEDAD K_H |
|--------------------------------|-------------------------------|
| FLEXIÓN | 0,714 |
| COMPRESIÓN | 0,588 |
| TRACCIÓN | 0,714 |
| CIZALLE | 0,813 |
| CIZALLE INTERLAMINAR | 0,840 |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD E_f | 0,833 |
| MÓDULO DE CORTE G | 0,800 |

CONCLUSIONES

- 1.- El contenido de humedad que tenían los tableros en el momento de ser ensayados era de 8.7 % para los tableros con espesor de 9 mm, de 9.0 % para el espesor de 12 mm y de 9.7 % para el de 15 mm.
- 2.- La densidad de referencia de los tableros ensayados resultó de 483 kg/m³ para el espesor de 9 mm, de 523 kg/m³ para el de 12 mm y de 650 kg/m³ para el de 15 mm.
- 3.- El peso por unidad de superficie de los tableros ensayados resultó ser de 4,7 kg/m² para el tablero de 9 mm de espesor, de 6,6 kg/m² para el tablero de 12 mm de espesor y de 10,0 kg/m² para el de 15 mm de espesor.
- 4.- Las propiedades geométricas que se obtienen al considerar la Sección Transversal Efectiva del contrachapado, es decir al tomar como secciones efectivas de una sección transversal sólo a las chapas cuya fibras tienen la misma dirección de los esfuerzos principales, se incluyen en el Cuadro siguiente.

Cuadro N°21

PROPIEDADES GEOMETRICAS DEL CONTRACHAPADO DE COIGÜE PARA USO ESTRUCTURAL. CONSIDERANDO EL METODO DE LA SECCION TRANSVERSAL EFECTIVA.

| Espesor nominal (mm) | Peso unitario aprox. (kg/m ³) | Espesor efectivo (mm) | PROPIEDADES EFECTIVAS PARA CALCULO DE ESFUERZOS PARALELOS A LAS FIBRAS DE LAS CHAPAS EXTERIORES | | | | PROPIEDADES EFECTIVAS PARA CALCULO NORMALES A LAS FIBRAS DE LAS CHAPAS EXTERIORES | | | |
|-------------------------|--|--------------------------|---|---|--|---|---|---|--|---|
| | | | Area de sección A (cm ²) | Momento de Inercia I (cm ⁴) | Módulo de sección W (cm ³) | Ciz para el corte interlaminar b I/S (cm ³) | Area de sección A (cm ²) | Momento de Inercia I (cm ⁴) | Módulo de sección W (cm ³) | Ciz para el corte interlaminar b I/S (cm ³) |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| 9 | 4,72 | 9,30 | 60,00 | 5,14 | 11,05 | 61,97 | 33,00 | 1,57 | 5,31 | 39,31 |
| 12 | 6,55 | 12,50 | 71,60 | 11,18 | 18,17 | 82,02 | 51,39 | 4,33 | 9,93 | 58,13 |
| 15 | 9,97 | 15,40 | 85,50 | 20,24 | 26,29 | 102,66 | 68,40 | 10,19 | 17,00 | 79,88 |

NOTA: Los valores indicados en las columnas (4) a (11) se refieren a un ancho de 100 cm.

5.- Las Tensiones Admisibles aplicables al contrachapado estructural seco (H<16%), de coigüe, fabricado por BOMASA, se presentan en el Cuadro siguiente.

Cuadro N° 22

TENSIONES ADMISIBLES DEL CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL DE COIGÜE

| PROPIEDAD | TENSION ADMISIBLE kg/cm ² |
|------------------------------|---|
| FLEXIÓN | 140,0 |
| COMPRESIÓN | 115,0 |
| TRACCIÓN | 100,0 |
| CIZALLE A TRAVÉS DEL ESPESOR | 15,5 |
| CIZALLE INTERLAMINAR | 6,2 |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD | 105 500 |
| MÓDULO DE CORTE | 5 275 |

6.- De acuerdo a la denominación definida en la norma chilena NCh 1198 (Tablas 3a y 3b), estos valores se aproximan bastante a la Clase Estructural F 14. Al comparar los valores normalizados con los obtenidos en este estudio, resulta:

Cuadro N° 23

TENSIONES ADMISIBLES PARA CONTRACHAPADO ESTRUCTURAL DE COIGÜE Y Nch 1198

| PROPIEDAD | TENSIONES ADMISIBLES (MPa) | |
|-----------------------------|----------------------------|----------|
| | NCh 1198 | COIGÜE * |
| FLEXIÓN | 14,0 | 14,0 |
| COMPRESIÓN | 10,5 | 11,5 |
| TRACCIÓN | 11,0 | 10,0 |
| CIZALLE A TRAVÉS DELESPESOR | - | 15,5 |
| CIZALLE INTERLAMINAR | 2,1 | 6,2 |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD | 9.100 | 10.550 |
| MÓDULO DE CORTE | 455 | 527,5 |

* Valores obtenidos en el presente estudio.

7.- El contrachapado estructural de coigüe, fabricado por BOMASA, seco ($H < 16\%$), se puede asimilar a la Clase Estructural F 14, definida en la norma chilena NCh 1198.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALEGRIA M y GONZALEZ 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.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1987. ASTM D-3043 Standard Test Method for Structural Panels in Flexure.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1987. ASTM D-3501 Standard Methods of Testing Plywood in Compression.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1990. ASTM D-3500 Standard Methods of Testing Structural Panels in Tension.

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.

AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION, APA, Plywood Design Specifications y Anexos 1, 2, 3 y 4.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, INN, 1990. NCh 1198 : Madera-Construcciones en Madera-Cálculo, Santiago, Chile.

MÖHLER Y EHLBECK, 1974. Kurzzeit-U. Dauerstandversuche für ermittlung der statischen und dauerstandfestigkeit von bau-furnierplatten. Berichte aus der bauforschung, heft 92. Wilhelm Ernst & Sohn.

PEREZ GALAZ VICENTE, 1995. El Contrachapado Estructural., Ciencia e Investigación Forestal, Vol.9.,Nº.1, (págs. 123 - 140)., Santiago, Chile.

RESIDENCIAL & COMMERCIAL, 1982. APA Design/Construction, Guide Nº E. 308.

STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA, 1979. AS 2269, Structural Plywood

CARACTERIZACIÓN BIOMÉTRICA DE LAS MADERAS DE *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore y *Pinus strobus* L. CRECIDAS EN EL SECTOR LOS GUINDOS DE LA RESERVA FORESTAL DE MALLECO (CHILE).

ROBERTO MELO S.^(*) y LUIS MORAGA V.^(**)

(*) Ingeniero Civil Químico, Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Concepción.

(**) Ingeniero Forestal, Universidad de Concepción.

RESUMEN

Peso específico, longitud de traqueida y peso unitario de fibra (coarseness) fueron medidos en árboles de 60 años de las especies *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore y *Pinus strobus* L., crecidas en la Reserva Forestal de Malleco, Chile.

Los promedios de longitud de traqueida para las tres especies se encuentran alrededor de 2,5 mm, siendo inferiores a los informados por la literatura. El margen de peso específico a volumen saturado para las especies fluctuó entre 0,30 y 0,36. Para *Picea obovata* Ledeb. y *Pinus strobus* L. los valores de peso unitario de fibra se situaron entre 17 y 18 dg, en tanto para *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore no sobrepasó el valor de 12 dg.

Se informa también sobre la variación de estas propiedades tanto en la altura del árbol como desde médula a corteza.

Palabras Claves: Coníferas, Peso específico, Longitud de traqueida, Coarseness.

ABSTRACT

Specific gravity, fiber length and coarseness have been measured from *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore and *Pinus strobus* L., 60 years old, grown in the Malleco Forest Reserve, Chile.

Average values of fiber length are around 2,5 mm for the three species, which are below those reported by literature. Specific gravity ranged within 0,30 and 0,36 for these species, whereas coarseness was 17-18 dg for *Picea obovata* Ledeb. and *Pinus strobus* L., and less than 12 dg for *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore.

Variation of these properties with tree height and radial in the trunk are also reported.

Keywords: Conifers, Specific gravity, Fiber length, Coarseness.

INTRODUCCIÓN

De los criterios usados para determinar la calidad de la madera, el peso específico es el más importante puesto que se relaciona de manera directa con la resistencia de la madera y con los rendimientos de pulpa para la industria papelera, siendo a su vez, el principal indicador de la cantidad de fibra seca de la madera (Daniel et al., 1982; González y Molina, 1989; Timell (1986), citado por Vargas, 1991). De acuerdo a L. P. F. (1985), la densidad es la característica física más significativa para determinar la calidad de la madera y la pulpa, pues engloba en una sola variable los factores como edad, posición en el fuste, velocidad de crecimiento, tratamientos silvícolas, calidad del sitio y herencia. El fenómeno anterior ha motivado a numerosos investigadores al estudio del comportamiento de esta característica de los árboles maderables, llegándose a determinar, en primera instancia, que el peso específico varía en función de muchos factores que condicionan el desarrollo de las masas boscosas (Gysling, 1982), siendo, a su vez, según van Buijtenen (1964) citado por Zobel y Talbert (1988), no una característica simple de la madera, sino una combinación de características, cada una de las cuales posee un sólido patrón hereditario propio. Combinados, finaliza la cita, determinan lo que se conoce como peso específico.

El largo de traqueida, por otro lado, es considerada una de las cualidades más importantes de la madera, especialmente por su efecto en las resistencias y características superficiales del papel, así como en la resistencia al rasgado y al doblez (Casey, 1960; Daniel et al., 1982). Es así como Dadswell y Nicholl (1959) citados por Delmastro et al. (1980), concluyen que el largo de traqueida, la densidad y la contracción longitudinal son las tres determinaciones que entregan prácticamente toda la información requerida de una madera. Por la relativa facilidad para determinarla, y por ser la dimensión que proporciona la información más útil, es incluida en casi todos los estudios técnicos relacionados con la pulpa y el papel (Einspahr, 1964).

Finalmente, en la caracterización de la morfología de la fibra, un importante factor ha de ser tomado en cuenta: tal es el peso por unidad de longitud o "coarseness de fibra" (Britt, 1966). Esta propiedad de las células conjuga la relación longitud/diámetro y la morfología de la sección transversal (L. P. F., 1985). Casey (1960), al estudiar el concepto, lo define como una razón entre longitud y diámetro de la fibra. Incluye este factor, agrega, los efectos del grosor de la fibra, el tamaño del canal central o lumen y la densidad del material sólido que la compone. Por otra parte, Martínez y Pacheco (1990), señalan que el índice de coarseness representa el espesor de pared de la fibra y, de acuerdo a Delmastro et al. (1980), al igual que otras dimensiones celulares, expresa en términos morfológicos la cantidad y distribución de la sustancia celular en el volumen de madera, influyendo en la mayoría de sus propiedades y, por ende, en la calidad y posibilidades de uso de este material, teniendo especial relevancia en la madera destinada a la producción de pulpa y papel. En este sentido, Casey (1960)

apunta: "puesto que los fabricantes de papel manejan más bien la pulpa en dimensiones de peso, el registro de pesos promedios de fibra por unidad de longitud de ésta, parece ser mucho más razonable que un simple promedio aritmético de tal longitud".

El propósito de este trabajo es caracterizar biométricamente la madera de las especies *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores y *Pinus strobus* L., de modo de generar información que sea potencialmente útil para propender a la diversificación de las plantaciones forestales en Chile y para apoyar las decisiones que se tomen en el manejo del recurso que se crea y en la utilización del existente.

Se han planteado como objetivos específicos la determinación de tendencias y valores promedios de las propiedades peso específico a volumen saturado, longitud de traqueida y coarseness en la madera de las especies mencionadas.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del Área de Estudio (CONAF, 1975).

El área de estudio corresponde al sector Los Guindos de la Reserva Forestal de Malleco, ubicada en la comuna de Collipulli, IX Región de la Araucanía.

El clima se clasifica como templado cálido con influencia mediterránea. Las precipitaciones sólidas son escasas, concentrándose las lluvias en invierno (superiores a 2 400 mm), las que están muy por sobre las estivales (330 mm). La temperatura promedio anual fluctúa entre 13° C y 14° C.

Los suelos corresponden a depositaciones andesítico - basálticas provenientes de erupciones volcánicas. Conocidos como trumaos de altura, poseen una gran proporción de arcilla alófana tipo amorfa, lo que explica una estructura muy porosa y relativamente estable, pero de consistencia muy suelta en seco. La fertilidad de estos trumaos de altura es relativamente alta debido a su gran contenido en minerales fácilmente meteorizables, la poca lixiviación, la mediana capacidad de cambio y su buena estructura y alta estabilidad frente a la erosión cuando se conserva una cobertura permanente de vegetación. La caracterización de los terrenos de la Reserva permite, en su totalidad, clasificarlos en las clases de uso VII y VIII.

Descripción de los Rodales en Estudio.

En el Cuadro N° 1 se incluye información dasométrica básica que entrega para las especies en estudio la edad en años, el DAP medio en centímetros, la altura media en metros, el número de árboles totales y el área basal total en metros cuadrados.



Cabe hacer notar que el rodal de la especie *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore (Ciprés de Lawson) estaba constituido por ejemplares ordenados a lo largo de un camino predial, conformando de este modo una hilera o avenida. Los rodales de las especies *Picea obovata* Ledeb. (*Picea* Siberiana) y *Pinus strobus* L. (Pino Blanco del Este), en tanto, correspondían a la ordenación de la plantación experimental establecida en la década de 1930.

Cuadro N° 1
INFORMACIÓN DASOMÉTRICA BÁSICA

| Especie (-) | Edad (años) | DAP medio (cm) | Altura media (m) | Árboles totales (N°) | Área basal total (m ²) |
|---------------------------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--|
| <i>Picea obovata</i> | 60 | 38,1 | 24,4 | 81 | 10,3 |
| <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | | 50,5 | 22,2 | 49 | 11,3 |
| <i>Pinus strobus</i> | | 58,0 | 29,4 | 24 | 7,0 |

Fuente: Bases Licitación "Estudios Básicos sobre volumetría, crecimiento y taxonomía en rodales de coníferas exóticas en Sector Los Guindos, Reserva Forestal de Malleco". (1991). CONAF, Dirección Regional IX Región.

Tipo de muestreo y selección de los árboles.

Dadas las características de los rodales (escaso número de individuos y, en algunos casos, coexistencia de especies diferentes), se optó por realizar líneas de muestreo de 50 m de largo para la especie *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore y parcelas de 500 m² para *Picea obovata* Ledeb. y *Pinus strobus* L., determinando el DAP de todos los individuos, para posteriormente confeccionar Tablas de Rodal desde las cuales se determinó el DAP promedio en base al que se seleccionaron los árboles respectivos. De este modo se seleccionaron un mínimo de tres árboles por especie, correspondiendo uno a la clase del DAP medio, otro a la clase superior y el tercero a la clase inferior a dicho diámetro.

Los valores correspondientes al DAP de los árboles muestreados de cada especie se exponen en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
INFORMACIÓN DASOMÉTRICA DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS

| Especie (-) | DAP (cm) | | |
|---------------------------------|------------|------------|------------|
| | Árbol N° 1 | Árbol N° 2 | Árbol N° 3 |
| <i>Picea obovata</i> | 35,0 | 25,0 | 46,0 |
| <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | 47,0 | 57,0 | 64,0 |
| <i>Pinus strobus</i> | 78,0 | 64,0 | 70,0 |

Obtención de las Muestras para Experimentación.

Las muestras para la determinación de las propiedades biométricas correspondieron a material proveniente de rodela tomadas a diferentes alturas, en los árboles seleccionados. Estas, de aproximadamente 5 cm de espesor, se identificaron convenientemente de acuerdo a un código que denotaba la especie y la altura a la que correspondía.

En los casos de presencia de anomalías, como nudos, pudriciones o quebraduras en el fuste, se procedió a tomar la rodela en la zona contigua al área anómala de modo que la madera muestreada no tuviese defectos que alteraran las propiedades por evaluar.

Para la determinación del comportamiento intraincremental en altura y edad del peso específico a volumen saturado, longitud de traqueida y coarseness de madera, se retiraron cuatro cuñas opuestas por rodela, las que se dividieron a su vez en dos sectores de un centímetro de arco, constituyendo finalmente dos muestras de experimentación de cuatro sectores cada una. De tales muestras se obtuvieron subsectores de diez anillos de crecimiento, los que agregados según incrementos, se fraccionaron en astillas de un cm de longitud y un mm de espesor, constituyendo el material de trabajo para los análisis intraincrementales.

Para cada una de las especies, el árbol de DAP medio proveyó la mayor proporción de material. Es así como en la determinación del peso específico se generaron cuñas desde todas las rodela de este ejemplar, en tanto que los dos restantes árboles generaron cuñas desde sólo algunas de sus diferentes rodela. En este caso, el criterio de selección de las cuñas fue la disponibilidad y calidad del material y la coincidencia en altura de las rodela elegidas. Por otro lado, en la determinación de la longitud de traqueidas y coarseness de madera se seleccionaron únicamente tres rodela del árbol de DAP medio para generar el material de experimentación (inferior, media y superior).

Determinación del Peso Específico de la Madera.

El peso específico de la madera se determinó de acuerdo al método de desplazamiento de agua según volumen de la pieza, conocido como "Método de Arquímedes". Este método, que permite relacionar peso anhidro con volumen saturado o verde, es ampliamente citado por la literatura como procedimiento de determinación del peso específico. El estado anhidro se obtuvo colocando las probetas en una estufa a 103°C (con una variación de 2°C) durante 48 horas o hasta peso constante; y el volumen saturado, tras someterlas a inmersión hasta su precipitación total en los depósitos destinados para tal efecto, midiendo el incremento en peso que experimenta un vaso de precipitado conteniendo agua corriente cuando se introduce en él la probeta soportada por un fino sostén punzante.

Las mediciones fueron hechas con una balanza analítica - en caso de muestras pequeñas - o de mayor capacidad, en el caso de piezas grandes. La probeta saturada, antes de ser pesada, fue suspendida sobre el agua desde el brazo de la balanza o desde un trípode acondicionado para ello. La balanza, así como los dispositivos accesorios, se calibraron y pesaron antes de la inmersión de las piezas, siendo la precisión exigida en los ensayos de 0.01 g, con tres repeticiones para cada determinación a partir de las cuales se obtuvo un valor promedio.

El concepto de peso específico aquí adoptado, es el de una relación de dimensiones expresado en función del volumen base: "Peso específico a volumen saturado".

La bondad y aplicación del método se debe a que, siendo la densidad del agua virtualmente unitaria a temperatura ambiente, la diferencia de los registros de la balanza antes y después de sumergir la probeta, corresponde al volumen de agua desplazado, esto es, al volumen de la probeta.

Determinación de la Longitud de Traqueidas y del Coarseness de Madera.

La metodología seguida, se basó en los procedimientos descritos en "Tappi Test Methods", Volumen N° 1 (1989); publicados por la "Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)".

Las Normas empleadas en este estudio fueron:

- Norma TAPPI T 232 cm-85 "Fiber length of Pulp by projection".
- Norma TAPPI T 234 cm-84 "Coarseness of Pulp fibers".

Análisis de los Datos.

Para cada una de las especies, los resultados hallados fueron analizados para determinar los valores promedios y conocer las tendencias de las propiedades estudiadas.

El proceso de cálculo de promedios y tendencias consideró la influencia del volumen de las piezas, por lo que debió ponderarse los valores según dicha variable. En otras palabras, se determinó la influencia relativa que cada sector intraincremental ejercía sobre el total de la rodela y, por extensión, sobre el volumen total del árbol y, por ende, sobre cada una de las propiedades medidas.

RESULTADOS

Valores Promedios Ponderados.

El Cuadro N° 3 muestra los valores promedios determinados en este estudio para cada una de las tres propiedades biométricas determinadas en las maderas evaluadas. En el caso particular de las cualidades peso específico a volumen saturado y longitud de traqueida, se detectan valores que están por bajo aquellos informados por la literatura para las mismas especies, si bien ambas se encuentran dentro del margen definido para coníferas. En relación a los valores de coarseness de madera, aunque no se informan promedios generales para gimnospermas, las especies estudiadas presentan promedios ponderados próximos a los informados para otras especies coníferas (aunque de edades diferentes a los ejemplares evaluados en esta investigación).

Cuadro N° 3
PROMEDIOS PONDERADOS SEGÚN ATRIBUTO Y ESPECIE

| Especie (-) | Peso específico (g/cm ³) | Longitud de traqueida (mm) | Coarseness (dg) |
|---------------------------------|---|-------------------------------|--------------------|
| <i>Picea obovata</i> | 0,363 | 2,66 | 17,64 |
| <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | 0,360 | 2,41 | 12,00 |
| <i>Pinus strobus</i> | 0,297 | 2,64 | 17,99 |

Tendencias del Peso Específico en Relación a la Altura del Árbol.

En el Cuadro N° 4 se resumen los resultados obtenidos en las determinaciones de peso específico promedio ponderado a diferentes alturas para las tres especies bajo estudio. La discusión de los mismos se presenta en forma individual según el orden establecido en el Cuadro mencionado.

Cuadro Nº 4

PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO EN RELACIÓN A LA ALTURA DEL ÁRBOL SEGÚN ESPECIE

| Altura (m) | Peso Especifico (g/cm ³) | | |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 0,25 | 0,400 | 0,372 | 0,336 |
| 3,95 | 0,354 | 0,345 | 0,283 |
| 5,20 | - | 0,378 | 0,289 |
| 6,45 | 0,369 | 0,345 | 0,270 |
| 10,15 | 0,369 | 0,353 | 0,296 |
| 10,85 | - | 0,363 | - |
| 11,40 | - | 0,343 | 0,271 |
| 12,65 | 0,358 | 0,333 | 0,282 |
| 16,35 | 0,346 | 0,353 | 0,298 |
| 17,05 | - | 0,392 | - |
| 20,05 | - | - | 0,301 |
| 23,75 | - | - | 0,325 |

La tendencia seguida por los valores promedios ponderados en la madera de *Picea obovata* Ledeb. refleja una disminución gradual del peso específico con la altura. Tal relación se ilustra a través de la Figura Nº 1, la que presenta para *Picea Siberiana* la tendencia del peso específico en sectores intraincrementales equivalentes según sucesivas alturas en el árbol.

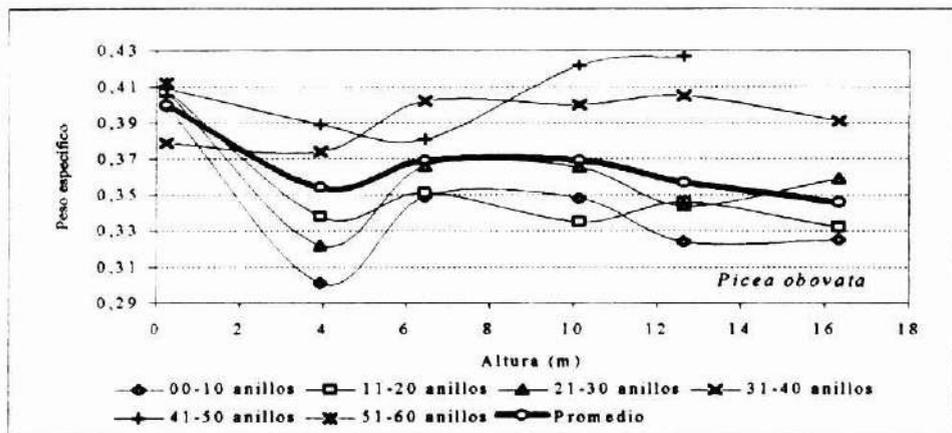


Figura Nº 1. TENDENCIA DEL PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO DE LOS INCREMENTOS SEGÚN NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA EN RELACIÓN A LA ALTURA DEL ÁRBOL EN LA MADERA DE *Picea obovata* Ledeb.

Se puede observar que para cada altura existe un amplio rango de variación, siendo la excepción los valores de este atributo determinados para el menor nivel, los que oscilan entre 0,379 y 0,412. Por otra parte, hacia la periferia del fuste (31 a 60 años) se presentan los máximos pesos específicos en relación con la altura del árbol.

Para Ciprés de Lawson no se encontró una tendencia definida en el comportamiento del peso específico, caracterizándose más bien por las fuertes oscilaciones de los valores a lo largo del fuste (Cuadro N° 4). La Figura N° 2 ilustra el comportamiento de los valores en relación a la altura del árbol según sectores de edad equivalentes en madera de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

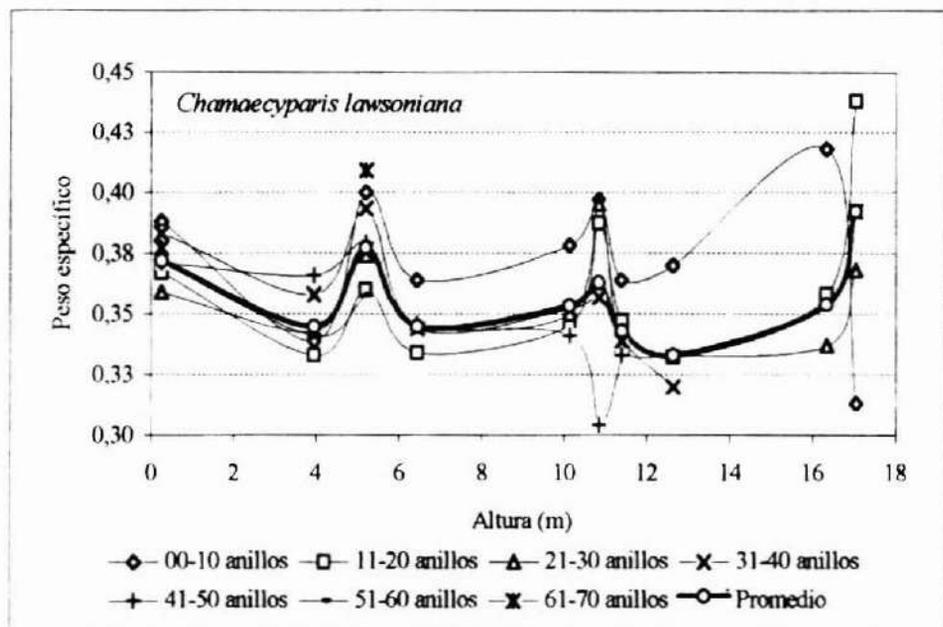


Figura N° 2. TENDENCIA DEL PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO DE LOS INCREMENTOS SEGÚN NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA EN RELACIÓN A LA ALTURA DEL ÁRBOL EN LA MADERA DE *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

Para la mayor parte de las alturas los valores más elevados se presentan entre la médula y los 10 años de edad, comportamiento que sobre los 10,9 m se muestra también para los anillos 11 a 20. En relación a la dispersión de los valores en torno al promedio ponderado, en general, los distintos sectores intraincrementales siguen igual tendencia

a lo largo del fuste, apreciándose además un incremento de los valores sobre los 11,40 m.

En el Cuadro N° 4 se entregan los valores para *Pinus strobus* L., los que muestran una tendencia al aumento a medida que se incrementa la altura sobre el tronco. En la Figura N° 3 se puede observar el comportamiento del peso específico promedio ponderado según sectores intraincrementales equivalentes en relación a la altura del árbol en la especie Pino Blanco del Este.

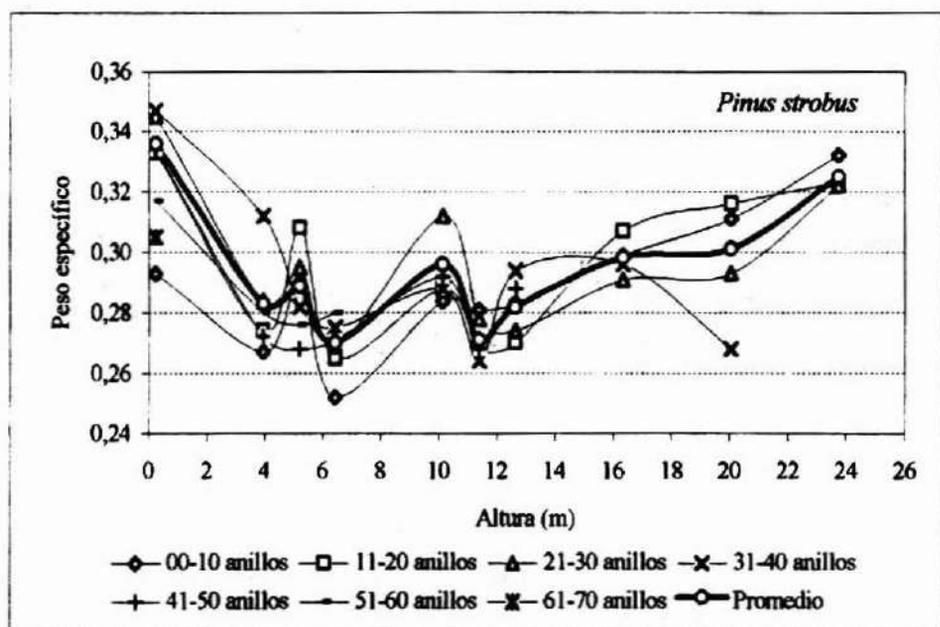


Figura N° 3. TENDENCIA DEL PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO DE LOS INCREMENTOS SEGÚN NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA EN RELACIÓN A LA ALTURA DEL ÁRBOL EN LA MADERA DE *Pinus strobus* L.

La mayor variabilidad del peso específico en torno al valor promedio ponderado se presenta para la altura de 0,25 m. Sobre ésta, los valores se estabilizan y luego acusan un aumento moderado hacia la copa.

Tendencia del Peso Específico en Relación a la Edad Fisiológica del Árbol.

En el Cuadro Nº 5 se resumen los resultados obtenidos en las determinaciones de peso específico ponderado en la dirección radial desde médula a corteza para las tres especies estudiadas.

Cuadro Nº 5

PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO EN RELACIÓN A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA) SEGÚN ESPECIE

| Número de anillos desde la médula | Peso Específico (g/cm ³) | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 00-10 | 0,348 | 0,383 | 0,286 |
| 11-20 | 0,354 | 0,364 | 0,296 |
| 21-30 | 0,363 | 0,357 | 0,297 |
| 31-40 | 0,390 | 0,367 | 0,298 |
| 41-50 | 0,409 | 0,354 | 0,290 |
| 51-60 | 0,412 | 0,367 | 0,299 |
| 61-70 | - | 0,382 | 0,305 |

Las tendencias seguidas por los valores presentados se exponen en la Figura Nº 4.

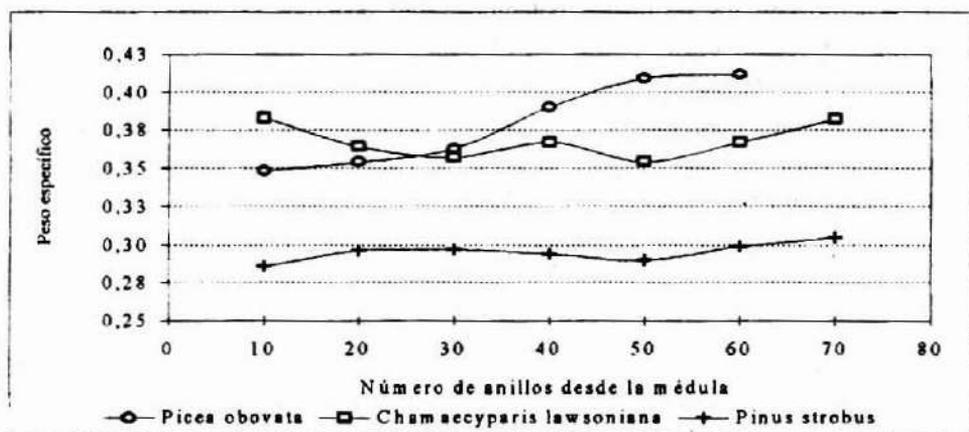


Figura Nº 4. TENDENCIA DEL PESO ESPECÍFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO DE LOS INCREMENTOS EN RELACIÓN AL NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA SEGÚN ESPECIE.

Para *Picea Siberiana* se observa un claro aumento del peso específico promedio ponderado con la edad del árbol. En las especies Ciprés de Lawson y Pino Blanco del Este, en cambio, se presenta una tendencia constante con leve incremento desde la médula hacia las capas externas.

Tendencia de la Longitud de Traqueida en Relación a la Altura del Árbol.

A través de el Cuadro N° 6 podemos reconocer la tendencia seguida por los valores de longitud de traqueida hacia la copa del árbol.

Cuadro N° 6

PROMEDIO PONDERADO DE LONGITUD DE TRAQUEIDA EN RELACIÓN A LA ALTURA DEL ÁRBOL SEGÚN ESPECIE

| Altura (m) | Longitud de Traqueida (mm) | | |
|---------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 0,25 | 2,54 | 1,73 | 2,52 |
| 10,15 | 2,80 | 2,65 | - |
| 11,40 | - | - | 2,86 |
| 16,35 | 2,56 | 2,44 | - |
| 23,75 | - | - | 2,42 |

De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo podemos establecer que el largo celular aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, disminuyendo en lo sucesivo de modo progresivo hacia las partes altas del mismo.

En relación al comportamiento a lo largo del fuste según sectores intraincrementales equivalentes para las tres especies la zona de madera juvenil entrega las menores longitudes en comparación a la madera adulta.

Tendencia de la Longitud de Traqueida en Relación a la Edad Fisiológica del Árbol.

En el Cuadro N° 7 podemos reconocer la tendencia seguida por los valores promedios ponderados de longitud de traqueida hacia la periferia del fuste. Los valores recogidos en esta investigación corroboran la clásica tendencia: un aumento de la longitud celular a medida que nos alejamos del eje central del árbol, para luego alcanzar un valor constante o descender hacia la corteza. En efecto, para las tres coníferas analizadas se observa un incremento de la longitud celular con la edad fisiológica, tendiendo a la estabilización hacia la periferia del tronco.

Cuadro Nº 7

PROMEDIO PONDERADO DE LONGITUD DE TRAQUEIDA EN RELACIÓN A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA) SEGÚN ESPECIE

| Número de anillos desde la médula | Longitud de Traqueida (mm) | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 00-10 | 2,00 | 1,46 | 1,97 |
| 11-20 | 2,67 | 1,79 | 2,43 |
| 21-30 | 3,00 | 2,12 | 2,83 |
| 31-40 | 2,83 | 2,50 | 2,91 |
| 41-50 | 2,53 | 2,45 | 2,94 |
| 51-60 | 2,78 | 2,30 | 2,77 |

De este modo, *Picea Siberiana* alcanza el máximo promedio ponderado entre los 21 y 30 años de edad (3,00 mm); máximo que para Ciprés de Lawson se presenta entre los 31 y 40 años (2,50 mm) Con una estabilización de sus valores entre los anillos 21 y 50. Pino Blanco del Este alcanza en esta última etapa su máximo valor (2,94 mm).

Analizando para cada especie el comportamiento de la longitud de traqueida en tres diferentes niveles de altura, se pudo apreciar que el incremento de la longitud desde la médula hacia la corteza se cumple en todos los casos; siendo la zona de tocón la que muestra las menores longitudes en relación a los dos restantes niveles de altura.

Tendencia del Coarseness de Madera en Relación a la Altura del Árbol.

A través del Cuadro Nº 8 es posible reconocer la tendencia seguida por los valores de coarseness de madera hacia la copa del árbol.

Cuadro Nº 8

PROMEDIO PONDERADO DE COARSENESS DE MADERA EN RELACION A LA ALTURA DEL ÁRBOL SEGÚN ESPECIE

| Altura (m) | Coarseness de Madera (dg) | | |
|------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 0,25 | 16,35 | 13,78 | 20,60 |
| 10,15 | 19,48 | 12,34 | - |
| 11,40 | - | - | 19,10 |
| 16,35 | 16,44 | 11,68 | - |
| 23,75 | - | - | 16,47 |

En *Picea Siberiana*, al igual que en el caso de la longitud de traqueida, sólo podemos deducir que el coarseness aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, tras lo cual su magnitud disminuye hacia la copa. Para Ciprés de Lawson se detecta un descenso constante y progresivo del coarseness con el incremento de la altura en el árbol. La especie Pino Blanco del Este, finalmente, muestra los mayores valores de coarseness y, como lo expone el Cuadro N° 8, la tendencia es la de una disminución con el incremento en altura.

Por último, cabe hacer notar la similitud a variación entre los valores de longitud de traqueida y coarseness según altura para la especie *Picea obovata* Ledeb., semejanza que ya ha sido detectada en otras especies coníferas.

Tendencia del Coarseness de Madera en Relación a la Edad Fisiológica del Árbol.

En el Cuadro N° 9 podemos observar la tendencia seguida por los valores promedios ponderados de coarseness de madera hacia la periferia del fuste.

En términos generales, se presenta un aumento de los valores con la edad siendo más notable el fenómeno en el caso de Pino Blanco del Este, especie en la cual la tasa de incremento entre la zona medular (0 a 10 años) y la periferia (41 a 50 años) alcanza el 56,5%.

Cuadro N° 9

PROMEDIO PONDERADO DE COARSENESS DE MADERA EN RELACIÓN A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA) SEGÚN ESPECIE

| Número de anillos desde la médula | Coarseness de la Madera (ng/100m) | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | <i>Picea obovata</i> | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> | <i>Pinus strobus</i> |
| 00-10 | 13,01 | 11,78 | 14,52 |
| 11-20 | 16,96 | 13,19 | 18,73 |
| 21-30 | 21,35 | 13,90 | 19,46 |
| 31-40 | 18,65 | 12,71 | 21,44 |
| 41-50 | 16,82 | 15,27 | 22,72 |
| 51-60 | 18,44 | 14,38 | 21,30 |

Ciprés de Lawson -que presenta cierta estabilidad con una tendencia al incremento de los valores- muestra, sin embargo, los menores índices del atributo evaluado, situación semejante a la detectada para la variación en altura. *Picea Siberiana*, por otro lado, tiende a incrementar los valores hasta cierta edad en el árbol (0 y 30 anillos) para después disminuir hacia la periferia del fuste, con un incremento final hacia el último sector anular.

Por último, cabe destacar la notable similitud en las tendencias seguidas para los valores de coarseness y de longitud de traqueida según edad en **Picea obovata Ledeb.**.

CONCLUSIONES

Los valores promedios ponderados de peso específico a volumen saturado, longitud de traqueida y coarseness de madera se encuentran dentro del margen general establecido por la literatura para especies madereras (coníferas).

El peso específico depende de la posición en altura en el fuste: disminuye hacia la copa en la especie **Picea obovata Ledeb.** y aumenta en dicha dirección en el caso de **Pinus strobus L.** En **Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlature**, en tanto, no se apreció una tendencia definida en el comportamiento de esta variable.

El peso específico en **Picea obovata Ledeb.** varía en función directa con respecto a la edad del árbol (número de anillos desde la médula). **Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlature** y **Pinus strobus L.**, presentaron, en cambio, una tendencia relativamente constante en el comportamiento de este atributo.

La longitud de traqueida en las especies evaluadas aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, disminuyendo progresivamente hacia las partes altas del mismo.

En cada una de las especies estudiadas, la longitud de traqueida incrementa con tendencia a la estabilización hacia la periferia del tronco.

En **Picea obovata Ledeb.** el coarseness aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, tras lo cual su magnitud decrece hacia la copa. En **Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlature** y **Pinus strobus L.**, en tanto, éste desciende con el incremento de la altura en el árbol.

El coarseness aumenta con el número de anillos desde la médula en las tres coníferas evaluadas.

Se observó una notable similitud en el comportamiento adoptado por los valores de longitud de traqueida y coarseness de madera, tanto en altura como en edad, en la especie **Picea obovata Ledeb.**.

REFERENCIAS

Britt, K., 1966. Fiber Coarseness in Wood. *Tappi*, 49(5): 202-6.

Casey, J., 1960. Papermaking. Vol. 2. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, Second Edition. Interscience Publishers, Inc. New York. USA..

CONAF, 1975. Plan de Manejo para la Reserva Forestal de Malleco. Dirección Regional, Oficina de Programación XI Zona CONAF. IX Región.



CONAF, 1991. Bases Licitación "Estudios Básicos sobre Volumetría, Crecimiento y Taxonomía en Rodales de Coníferas Exóticas en Sector Los Guindos-Reserva Forestal de Malleco". Dirección Regional, IX Región.

Daniel, P., Helms, V. y Baker, F., 1982. Principios de Silvicultura. Traducido de la Segunda Edición Inglesa por Ramón Elizondo Mata. Mc Graw-Hill. México, D.F..

Delmastro, R., Díaz-Vaz, J. y Schlatter, E., 1980. Variabilidad de las Características Tecnológicas Hereditarias del *Pinus radiata* D. Don. Revisión Bibliográfica. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003C, Documento de Trabajo N^o 34.

Einspahr, D.W., 1964. Correlations Between Fiber Dimensions and Fiber and Handsheet Strength Properties. Tappi, 47(4): 180-3.

González, J. y Molina, J., 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de Pino Radiata. Documento Técnico N^o 38, Revista Chile Forestal. Corporación Nacional Forestal, Santiago de Chile.

Gysling, J., 1982. Influencia del Peso Específico en la Rotación Económica de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don para producción de Pasta y Papel. Tesis de Ing. For. Universidad de Chile, Escuela de Ciencias Forestales. Santiago de Chile.

Laboratorio de Productos Forestales (L. P. F.), 1985. Factores que influyen en la calidad de la madera y que afectan la calidad de la pulpa. Dirección de Investigaciones Tecnológicas y Asistencia Técnica. Universidad de Concepción, Chile.

Martínez, F. y Pacheco, L., 1990. Una visión de la pulpa kraft de Pino Radiata Chileno. Caracterización, Ventajas comparativas y Potencialidades. Asociación Técnica de Celulosa y Papel (ATCP). Revista Celulosa y Papel 6(3): 6-14. Chile.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 1989. "Tappi Test Methods". Atlanta, USA.

Vargas, G., 1991. Peso Específico de la Madera de Compresión en Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don) crecido en la Décima Región. Tesis de Ing. For. Universidad Austral de Chile, Fac. de Ciencias Forestales.

Zobel, B.J y Talbert, J., 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético en árboles Forestales. Versión Española: Manuel Guzmán Ortíz. Editorial Limusa, México, D.F..

ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN TABLEROS DE FIBRAS (MDF) Y DE PARTÍCULAS

PETER NIEMZ. (*) y HERNÁN POBLETE W. (**)

(*) Ingeniero Civil en Maderas. Doctor Ing., Profesor Huésped. Fac. Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia - Chile.

(**) Ingeniero Forestal. Doctor Cs. Forestales. Profesor Titular Fac. Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia - Chile

RESUMEN

Se determinó la humedad de equilibrio luego del climatizado a diferentes humedades relativas del aire entre 40 % y 95 % en tableros de partículas y de fibras de densidad media (MDF) fabricados industrialmente. Luego del climatizado se determinaron las variaciones dimensionales longitudinales y en el espesor.

Las humedades de equilibrio y las variaciones dimensionales fueron menores en los tableros MDF. Al reacondicionar los tableros se pudo determinar que los del tipo MDF poseen una mayor estabilidad dimensional.

Palabras Clave: *Tableros MDF, Tableros de partículas, Humedad de equilibrio, Estabilidad dimensional.*

ABSTRACT

Equilibrium moisture content at relative air humidities between 40 % and 95 % of industrial manufactured MDF and Particleboards were determined. Longitudinal and thickness swellings were also measured.

The recorded equilibrium moisture and swelling of MDF boards were lower than those of Particleboard. A re-conditioning of the boards showed that MDF have a higher dimensional stability.

Keywords: *MDF, Particleboards, Equilibrium moisture, Dimensional Stability.*

INTRODUCCIÓN

Existen pocos estudios que traten el tema de la estabilidad dimensional y la humedad de equilibrio en tableros de fibras y de partículas.

NOACK Y SCHWAB (1986) informan que el hinchamiento longitudinal en tableros de partículas encolados con Ureaformaldehído, sufre variaciones de 0,035 % por cada 1 % de variación del contenido de humedad. En el caso de tableros encolados con Fenolformaldehído esta variación se reduce a 0,025 % por cada 1 % del contenido de humedad. Los mismos autores al determinar el hinchamiento en el espesor informan de variaciones de 0,45 % y 0,70 % por cada 1 % de contenido de humedad, para tableros de partículas con Ureaformaldehído y Fenolformaldehído, respectivamente.

Al estudiar tableros de partículas orientadas (OSB), LANG y LOFERSKY (1995) determinaron variaciones longitudinales de 0,22 % y 0,23 %, paralela y perpendicular a la dirección de las fibras en las caras, por cada 1 % de cambio en el contenido de humedad.

EURO-MDF-BOARD (1990) establece como norma, para tableros de fibras de densidad media con espesores de 12 a 19 mm, un aumento longitudinal máximo de 0,4 % al cambiar las condiciones climáticas de 35 % de humedad relativa del aire a 85%. Para el hinchamiento en el espesor EURO-MDF-BOARD (1990) establece como límite 6 %.

SUCHSLAND y XU (1989) determinaron que con humedades relativas superiores a 80 %, los tableros MDF presentan una estabilidad dimensional mayor a la de los tableros de partículas. Los mismos autores informan que la humedad de equilibrio máxima es algo inferior en MDF que en tableros de partículas (XU y SUCHSLAND, 1991).

En el presente trabajo se estudian cinco tipos de tableros MDF industriales confeccionados con *Pinus radiata* D. Don. encolados con Ureaformaldehído. Los tipos de tableros se diferencian por su densidad y espesor. Se incluyeron además dos tipos de tableros de partículas.

MATERIAL

Para la realización de los ensayos se consideraron tableros de fibra de densidad media (MDF) industriales del tipo liviano (MDF-L) y super liviano (MDF-SL), con densidades entre 460 y 600 kg/m³. Todos los tableros fueron formados con Ureaformaldehído. A estos paneles se agregaron dos tipos de tableros de partículas.

Las claves de identificación de los tableros fueron las siguientes:

- MDF-SL : Tablero **MDF Super Liviano** (A y B)
 MDF-L : Tablero **MDF Liviano**
 TP : Tablero de **Partículas**

Para definir las características de los tableros se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas. Esta caracterización se entrega en el Cuadro N° 1

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS TABLEROS.

| TABLERO | ESPESOR | DENSIDAD | RESISTENCIAS | | |
|--------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | FLEXIÓN | | TRACCIÓN |
| | | | MOR | MOE | |
| (Clave) | (mm) | (kg/m ³) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) |
| MDF - SL | 15 | 549 | 31.4 | 2.316 | 0.47 |
| MDF - SL - A | 18 | 495 | 32.1 | 2.335 | 0.39 |
| MDF - SL - B | 18 | 556 | 32.2 | 2.409 | 0.79 |
| MDF - L | 18 | 592 | 37.0 | 2.909 | 0.56 |
| MDF - SL | 25 | 549 | 38.3 | 2.524 | 0.39 |
| TP 16 | 16 | 598 | 20.6 | 2.289 | 0.32 |
| TP 19 | 19 | 627 | 19.3 | 2.755 | 0.50 |

TP: Tablero de partículas

MDF: Tablero de fibras de densidad media

MÉTODO

Probetas

Las determinaciones de las variaciones dimensionales longitudinales (Hinchamiento Longitudinal) se llevaron a cabo de acuerdo con la norma EN 318 en probetas de 200 mm * 20 mm. Para cada tipo de tablero se ensayaron 40 probetas de las cuales 20 se cortaron con el eje longitudinal paralelo a la dirección de producción y 20 perpendiculares al sentido de la producción.

El ensayo de Hinchamiento en el Espesor se efectuó en probetas de 50 mm * 100 mm. El número de probetas por tipo de tablero fue 20.

Tratamiento

Las probetas fueron tratadas en una cámara de clima marca HERAEUS a diferentes condiciones de humedad relativa del aire hasta alcanzar la humedad de equilibrio, peso constante.

Las condiciones climáticas se regularon considerando una temperatura constante de 23 °C y se varió la humedad relativa aumentándola en forma escalonada desde 40 % hasta 95 %.

Considerando los límites señalados, en las determinaciones de humedad de equilibrio las probetas se acondicionaron pasando por los niveles 55 %, 70 % y 80 %. En el caso de las determinaciones de variación de las dimensiones, por dificultades técnicas del equipo de climatizado, el nivel 80 % fué reemplazado por 85 %.

Luego de alcanzar el nivel de humedad máximo, 95 %, todas las probetas se climatizaron reduciendo la humedad relativa a 70 % y finalmente secándolas en estufa a 103 °C, hasta peso seco.

Determinaciones

La variación dimensional se calculó como el promedio de ambos sentidos de fabricación.

En el caso del Hinchamiento Longitudinal se midieron las variaciones con un equipo diseñado de acuerdo con la norma EN 318 dotado con un registrador incremental digital.

Las variaciones del Hinchamiento en el Espesor se determinaron con un registrador digital.

Las variaciones dimensionales se calcularon de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{(d_1 - d_2)}{d_2} * 100 \quad (1)$$

Donde:

ε = Hinchamiento (%)

d_1 = Dimensión a 40, 55, 70, 85, 95, 70 y 0 % hum. rel.

d_2 = Dimensión inicial, base a 40 % hum. rel.

Con los valores de hinchamiento a 40 % y 95 % hum. rel. y las humedades de equilibrio respectivas, se calculó el hinchamiento porcentual por cada 1 % de cambio de humedad en el tablero. Este cálculo se realizó de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\varepsilon_{rel} = \frac{\varepsilon_{95}}{(H_{95} - H_{40})} \quad (2)$$

Donde:

ε_{rel} = Hinchamiento relativo (% por cada 1% cambio humedad del material)

ε_{95} = Hinchamiento a 95 hum. rel.

H_{95} = Humedad de equilibrio con 95 % hum. rel.

H_{40} = Humedad de equilibrio con 40 % hum. rel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad de Equilibrio

Los resultados de las determinaciones de humedad de equilibrio se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LOS TABLEROS Y SU DEPENDENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

| MATERIAL. (Clave) | HUMEDAD RELATIVA (%) A 20 °C | | | | |
|----------------------|------------------------------|-----|------|------|------|
| | 40 | 55 | 70 | 80 | 95 |
| MDF 15 SL | 6,3 | 6,8 | 7,8 | 11,5 | 17,6 |
| MDF 18 SL-A | 6,6 | 7,1 | 8,2 | 11,4 | 17,4 |
| MDF 18 SL-B | 6,3 | 7,0 | 8,1 | 11,5 | 17,1 |
| MDF 18 L | 7,1 | 7,6 | 8,4 | 11,3 | 16,3 |
| MDF 25 SL | 6,9 | 7,6 | 7,8 | 10,9 | 16,6 |
| TP 16 | 7,3 | 8,0 | 10,0 | 13,7 | 19,0 |
| TP 19 | 7,3 | 7,9 | 8,9 | 13,3 | 19,4 |

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

En general los resultados demuestran que la humedad de equilibrio alcanzada por los tableros es marcadamente inferior a la alcanzada en estudios paralelos con madera sólida de *Pinus radiata*. Esta diferencia puede deberse al tratamiento térmico que sufren las partículas y las fibras de los tableros durante el desfibrado y secado. Determinaciones en este sentido han sido efectuadas anteriormente, demostrándose que el tiempo y la temperatura de secado afectan la capacidad de las partículas para retener agua (POBLETE, 1984).

El análisis del comportamiento de los paneles permite observar que al climatizar en una humedad relativa de 80 % los tableros de partículas alcanzan una humedad de equilibrio aproximadamente 2 % mayor a la de los tableros de fibras. Esta diferencia se

daría por la permanencia de lignina en la superficie de las fibras durante el desfibrado termomecánico en la producción de tableros de fibras. La lignina tiene una humedad de equilibrio menor al resto de los componentes principales de la madera (KOLLMANN y SCHNEIDER, 1963).

Variaciones Dimensionales en el Largo

En el Cuadro N° 3 se presentan los resultados del hinchamiento longitudinal, calculados en base al largo de las probetas en una humedad relativa de 40 %.

Cuadro N° 3
HINCHAMIENTO LONGITUDINAL CALCULADO EN BASE A UNA HUMEDAD RELATIVA DEL
AIRE DE 40 %

| MATERIAL (Clave) | HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | 40 | 55 | 70 | 85 | 95 | 70 | 0 |
| MDF 15 SL | 0 | 0,04 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,10 | -0,32 |
| MDF 18 SL-A | 0 | 0,06 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,08 | -0,35 |
| MDF 18 SL-B | 0 | 0,03 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,05 | -0,32 |
| MDF 18 L | 0 | 0,05 | 0,10 | 0,18 | 0,19 | 0,08 | -0,38 |
| MDF 25 SL | 0 | 0,06 | 0,15 | 0,17 | 0,22 | 0,08 | -0,35 |
| Promedio MDF | 0 | 0,05 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,08 | -0,34 |
| TP 16 | 0 | 0,06 | 0,18 | 0,27 | 0,38 | 0,21 | -0,28 |
| TP 19 | 0 | 0,04 | 0,16 | 0,23 | 0,38 | 0,22 | -0,29 |
| Promedio TP | 0 | 0,05 | 0,17 | 0,25 | 0,38 | 0,22 | -0,29 |

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

En general los valores de hinchamiento son inicialmente, hasta un 55 % de humedad relativa, iguales en ambos tipos de tablero. A partir de este punto los hinchamientos de MDF resultaron menores a los de tableros de partículas (ver Figura N° 1).

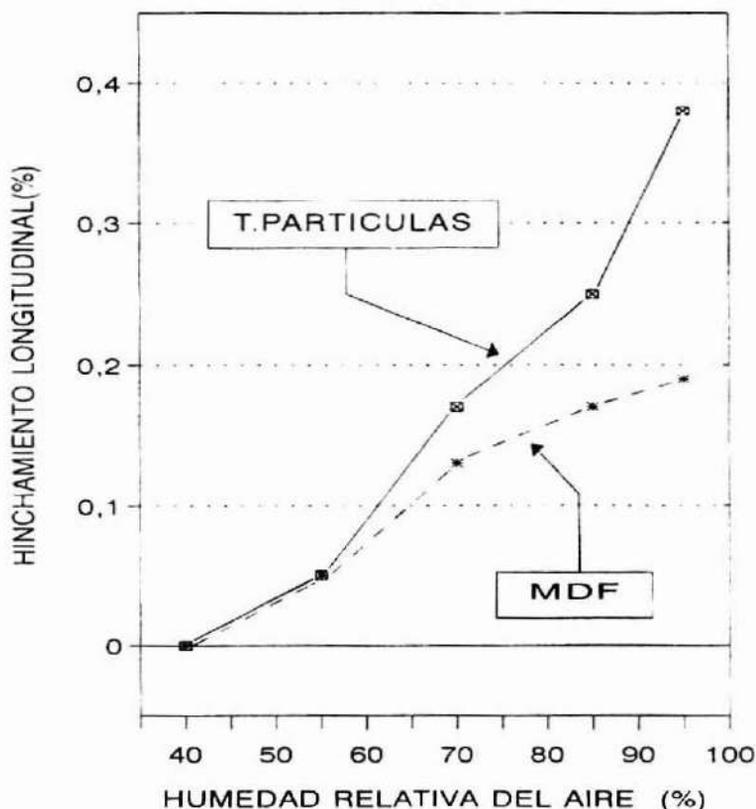


Figura Nº 1. EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL HINCHAMIENTO LONGITUDINAL (PROMEDIO DE TODOS LOS TABLEROS)

El hinchamiento longitudinal de los tableros MDF con una humedad relativa del aire a 85 % es de 0,17 %, lo que permite aseverar que los tableros cumplen con la exigencia de la norma EMB (0,4 %). Para el caso de los tableros de partículas no existe una exigencia de estas características.

Al reducir la humedad de equilibrio de 95 % a 0 %, se pudo determinar que los tableros MDF presentan un hinchamiento longitudinal con mayor capacidad de recuperación que los de partículas (ver Cuadro Nº 3).

Las diferencias entre tableros MDF y de partículas son atribuibles a diferencias estructurales y a la estabilización del hinchamiento de la madera lograda a través del tratamiento térmico con vapor en el desfibrado. Lo anterior queda demostrado por los trabajos de BURMESTER (citado por LEXIKON DER HOLZTECHNIK, 1988) quien desarrolló un proceso para una estabilización dimensional de tableros de partículas a

través de un tratamiento térmico de las partículas húmedas. También es conocido que especies de secado difícil, por ejemplo Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), a través de un pretratamiento con agua caliente o vapor se estabilizan, disminuyendo las posibilidades de colapso y aparición de grietas (DIAZ-VAZ y POBLETE, 1989). En este sentido es importante el trabajo de MATEJAK (1982) quien demostró que con tratamientos cíclicos de humectación se logran disminuir las variaciones dimensionales en madera de *Fagus sylvatica*.

La relación entre humedad del tablero e hinchamiento longitudinal puede ser representada con exactitud por una regresión lineal de primer grado (ver Cuadro N° 4), cuya ecuación es la siguiente:

$$H_l = A + B * H_r \quad (3)$$

Donde:

- H_l = Hinchamiento longitudinal (%)
 A y B = constantes
 H_r = Humedad rel. aire (%)

Cuadro N° 4
HINCHAMIENTO LONGITUDINAL: REGRESIONES

| Material | CONSTANTES | | COEFICIENTE CORRELACIÓN |
|--------------|------------|--------|----------------------------|
| | A | B | |
| MDF 15 SL | -0,148 | 0,0038 | 0,96 |
| MDF 18 SL-A | -0,133 | 0,0035 | 0,99 |
| MDF 18 SL-B | -0,125 | 0,0031 | 0,98 |
| MDF 18 L | -0,149 | 0,0036 | 0,99 |
| MDF 25 SL | -0,155 | 0,0039 | 0,99 |
| Promedio MDF | -0,140 | 0,0036 | 0,99 |
| TP 16 | -0,125 | 0,0031 | 0,98 |
| TP 19 | -0,298 | 0,0068 | 0,99 |
| Promedio TP | -0,298 | 0,0068 | 0,99 |

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Hinchamiento calculado en base a una humedad relativa del aire = 40%

En el ensayo de hinchamiento longitudinal se tuvo en consideración la dirección de fabricación. Los resultados demostraron que debido a que existe una orientación parcial de las partículas y fibras, el hinchamiento longitudinal es menor en el sentido paralelo a la dirección de fabricación. Las diferencias entre ambas mediciones han sido representadas como proporción (Perpendicular/Paralela) en el Cuadro N° 5.

La dependencia del hinchamiento del sentido de fabricación se fundamenta en la anisotropía de la madera y su menor hinchamiento en el sentido longitudinal.

La existencia de una relación con la dirección de fabricación ha sido determinada por numerosos autores para el caso del módulo de elasticidad y el módulo de rotura en flexión, donde estas propiedades resultan alrededor de 10 % más altas cuando el eje de la probeta queda paralelo al sentido de fabricación (NIEMZ, ROLLERI, BARRADIT, 1995).

Los resultados obtenidos demuestran que las diferencias entre los hinchamientos longitudinales paralelo y perpendicular a la dirección de fabricación, tienen variaciones importantes entre los tableros MDF. En el caso de los tableros de partículas los resultados muestran un comportamiento homogéneo, donde los hinchamientos perpendiculares son treinta veces mayores a los paralelos.

Cuadro Nº 5
PROPORCIÓN ENTRE HINCHAMIENTO
LONGITUDINAL PERPENDICULAR Y PARALELO
A LA DIRECCIÓN DE FABRICACIÓN

| MATERIAL | PERPENDICULAR / PARALELO (%) |
|-------------|---------------------------------|
| MDF 15 SL | 1.6 |
| MDF 18 SL-A | 3.3 |
| MDF 18 SL-B | 11.6 |
| MDF 18 L | 2.2 |
| MDF 25 SL | 12.0 |
| TP 16 | 33.0 |
| TP 19 | 37.0 |

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Variaciones Dimensionales en el Espesor

Los resultados de las mediciones del hinchamiento en el espesor se presentan en el Cuadro Nº 6. Los resultados demuestran que el hinchamiento del espesor es mayor en los tableros de partículas que en los MDF.

Cuadro N° 6

HINCHAMIENTO EN EL ESPESOR CALCULADO EN BASE AL ESPESOR CON UNA HUMEDAD RELATIVA DE 40 %

| MATERIAL (Clave) | HINCHAMIENTO EN EL ESPESOR (%) BASE 40% H.R.A. | | | | | |
|---------------------|--|------|------|------|-------|-------|
| | 40 | 55 | 70 | 85 | 95 | 0 |
| MDF 15 SL | 0 | 0,20 | 1,50 | 3,80 | 8,90 | -2,00 |
| MDF 18 SL-A | 0 | 0,20 | 1,30 | 3,20 | 8,20 | -2,70 |
| MDF 18 SL-B | 0 | 0,20 | 1,50 | 3,40 | 8,00 | -2,10 |
| MDF 18 L | 0 | 0,30 | 1,40 | 2,80 | 6,50 | -2,80 |
| MDF 25 SL | 0 | 0,30 | 1,50 | 3,30 | 6,90 | -1,40 |
| Promedio MDF | 0 | 0,24 | 1,44 | 3,30 | 8,30 | -2,14 |
| TP 16 | 0 | 0,20 | 1,90 | 4,30 | 9,30 | 3,90 |
| TP 19 | 0 | 0,30 | 1,70 | 3,30 | 10,80 | 2,30 |
| Promedio TP | 0 | 0,25 | 1,80 | 3,80 | 10,05 | 3,09 |

TP : Tablero de particulas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Los tableros MDF registraron un hinchamiento del espesor de 3,3 % al aumentar la humedad relativa a 85 %. De acuerdo con EURO-MDF-BOARD (1990) el hinchamiento máximo no debe superar 6 % por lo que los tableros cumplen con esta exigencia. Para los tableros de partículas no existe un requisito de este tipo.

De los resultados es importante destacar que los tableros de fibra (MDF) luego del secado, a 0 % de humedad, alcanzan un espesor menor que el inicial (determinado con 40 % de humedad relativa). Por el contrario, en los tableros de partículas se registra un hinchamiento irreversible mayor al inicial. Esta diferencia corresponde al fenómeno denominado *Springback* (ver Figura N° 2).

Las diferencias entre ambos tipos de tableros se deben a que con el climatizado a altas humedades relativa, se provoca una destrucción parcial de las uniones entre las partículas.

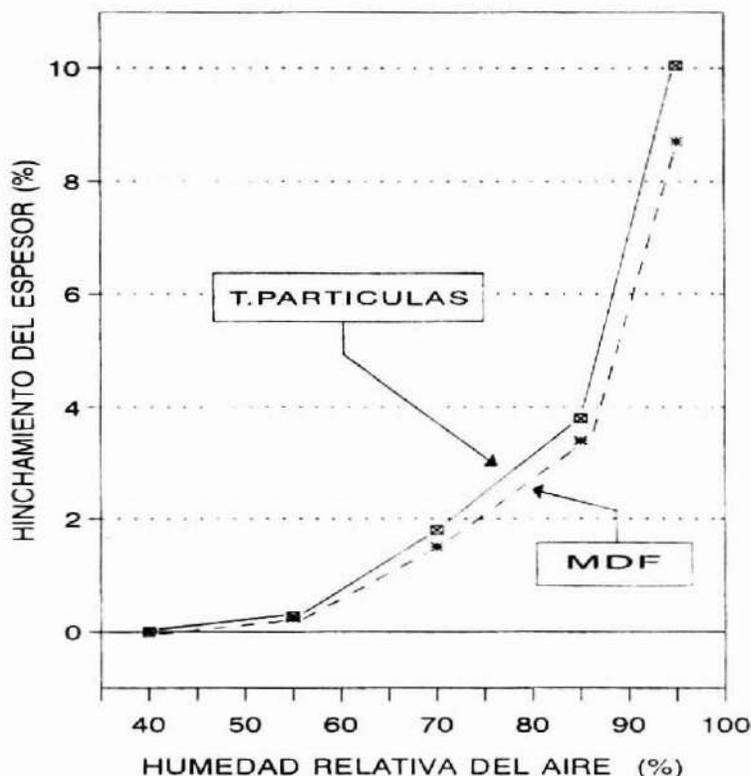


Figura Nº 2: EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL HINCHAMIENTO DEL ESPESOR (PROMEDIO DE TODOS LOS TABLEROS)

Con los valores de hinchamiento en el espesor se efectuó un análisis de regresión, obteniéndose los resultados que se presentan en el Cuadro Nº 7. De los resultados de este análisis se debe destacar los altos valores de correlación registrados para todos los tipos de tableros ensayados.

Las ecuaciones calculadas son de primer grado y corresponden al siguiente modelo:

$$H_e = A + B * H_r \quad (4)$$

Donde:

H_l = Hinchamiento longitudinal (%)

A y B = constantes

H_r = Humedad rel. aire (%)

Cuadro N° 7
HINCHAMIENTO DEL ESPESOR: REGRESIONES

| MATERIAL | CONSTANTES | | COEFICIENTE CORRELACIÓN |
|--------------|------------|----------|----------------------------|
| | A | B | |
| MDF 15 SL | -0,002158 | 1,092602 | 0,99 |
| MDF 18 SL-A | -0,001425 | 1,096251 | 0,99 |
| MDF 18 SL-B | -0,002615 | 1,089073 | 0,97 |
| MDF 18 L | -0,005302 | 1,078056 | 0,99 |
| MDF 25 SL | -0,003203 | 1,087660 | 0,99 |
| Promedio MDF | -0,002554 | 1,089660 | 0,99 |
| TP 16 | -0,002510 | 1,092036 | 0,98 |
| TP 19 | -0,003370 | 1,087814 | 0,98 |
| Promedio TP | -0,002925 | 1,089910 | 0,98 |

TP : Tablero de partículas

MDF : Tablero de fibras de densidad media

Hinchamiento calculado en base a una humedad relativa del aire = 40%

Variaciones Dimensionales en Relación al Cambio de Humedad de Equilibrio

Con los valores obtenidos en los ensayos de hinchamiento longitudinal y del espesor se calculó la variación de las dimensiones, en porcentaje, por cada 1 % de variación de la humedad de equilibrio del tablero (ver Cuadro N° 8).

Este parámetro ha sido determinado en estudios anteriores señalándose que en tableros de partículas encolados con Ureaformaldehído la variación longitudinal fué 0,035 % y alcanza a 0,45 % en el espesor (NOACK Y SCHWAB, 1986).

En el presente estudio el hinchamiento longitudinal de los tableros de partículas fue menor a lo citado por la literatura, mientras que en el caso del hinchamiento en el espesor los valores son más altos. Las diferencias pueden deberse al uso de aditivos con el adhesivo (por ejemplo hidrófobos) o a la aplicación de adhesivos distintos a los de otros estudios, ya sea en la cantidad, tipo o calidad.

Cuadro N° 8
HINCHAMIENTO POR CADA 1% DEL CAMBIO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL
TABLERO.

| MATERIAL | HINCHAMIENTO (% POR CADA 1%) | |
|--------------|------------------------------|---------|
| | LONGITUDINAL | ESPESOR |
| MDF 15 SL | 0,017 | 0,79 |
| MDF 18 SL-A | 0,018 | 0,76 |
| MDF 18 SL-B | 0,015 | 0,74 |
| MDF 18 L | 0,020 | 0,70 |
| MDF 25 SL | 0,023 | 1,02 |
| Promedio MDF | 0,019 | 0,80 |
| TP 16 | 0,031 | 0,77 |
| TP 19 | 0,032 | 0,92 |
| Promedio TP | 0,032 | 0,84 |

TP : Tablero de partículas
MDF : Tablero de fibras de densidad media

No existen investigaciones que estudien esta relación del hinchamiento con la humedad de equilibrio en tableros de fibras de densidad media (MDF). Por lo anterior no se tienen valores que sirvan de referencia para estos tableros.

BIBLIOGRAFÍA

Díaz-Vaz, J.E.; Poblete, H. 1989. Pretratamiento de Madera para Muebles. CORFO. Fondo de Desarrollo Productivo. Corporación de Fomento de la Producción. 67 p.

EN-318. 1993. Fasserplatten. Bestimmung von Massaenderungen in Verbindung mit Aenderungen der relativen Luftfeuchte.

Euro-Mdf-Board. 1990. Mitteldichte Faserplatten (MDF): Definition, Prüfbedingungen und Qualitätsanforderungen. Industrienorm. 30 p.

Kollmann, F.; Shneider, A. 1963. Über das Sorptionsverhalten WWärmebehandelter Hölzer. Holz als Roh- und Werkstoff 21 (3): 77-85.

Lang, E.; Lofersky, J. 1995. In-plane Hygroscopic Expansion of Plywood and Oriented Strandboard. Forest Products Journal 45(4): 67-71

Lexikon Der Holztechnik. 1988. 3ª-Edición. VEB Fachbuchverlag. Leipzig. 961 p.

Matejak, M. 1982. Einfluss des Trocknens von Holz auf den Verlauf seiner Sorptionsisothermen. Holzforschung und Holzverwertung 35 (4): 77-85.

Niemz, P.; Rolleri, A.; Barradit, E. 1995. Untersuchungen zur Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Spanplatten un MDF und deren Korrelation mit den elastomechanischen Eigenschaften. Holz- Zentralblatt. Im Druck.

Nonck, D.; Schwab, E. 1986. En: von Halaz, R.; Scheer, R.: Holzbautaschenbuch. Ernst-Verlag für Architektur u. Technische Wissenschaften. Berlin.

Poblete, H. 1984. Veränderungen in Holzspänen während der Trocknung und des Pressens zu Holzspanplatten. Disertación para optar a Doctorado. U. de Göttingen. 157 p.

Suchsland, O.; Xu, H. 1989. On the Measurement of Linear Expansion of Particleboard and Medium Density Fiberboard. Forest Products Journal 39 (6): 39-42.

Xu, H.; Suchsland, O. 1991. The Expansion Potential: A New Evaluator of the Expansion Behavior of Wood Composites. Forest Products Journal 41 (6): 39-42.

ÍNDICE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DOMINANCIA INDIVIDUAL EN RENOVALES DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb)(Oerst)) Y RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp et Endl))

CARLOS BAHAMÓNDEZ VILLARROEL y MARJORIE MARTIN STUVEN

Ingenieros Forestales, Instituto Forestal, División Ordenación Forestal e Inventarios.

RESUMEN

Se propone un índice para la estimación de la dominancia individual para renovales de Roble-Raulí. Se discute la lógica asociada a la generación del índice y la explicación de los aspectos espaciales relacionados como son la competencia por recursos y la disputa por espacio. Se describe la relación existente entre el índice propuesto y el comportamiento del incremento anual corriente en DAP. Este índice permite una buena aproximación para la descripción y explicación de las variaciones que presenta el incremento anual corriente en DAP, y es capaz de describir las posibilidades de sobrevivencia individual de acuerdo a su posición espacial; permite además tomar decisiones informadas dada su capacidad de entregar valores negativos y positivos reflejando el estado de estrés a que está sometido.

Palabras claves: Competencia, Dominancia, Modelos de Crecimiento.

ABSTRACT

*A new individual tree dominance index is proposed based on data from *Nothofagus alpina* and *Nothofagus obliqua* second growth forest. This index allows the explanation of the trees behavior and the correlation with the individual DBH increment. It is possible to describe the competitive relationship between trees by using this index. Besides, the index help to express the individual survival probability because it spatial position and spatial relationship. The index show how strong is the competition by its sign and magnitude.*

Keywords : Competition, Dominance, Growth models.

INTRODUCCIÓN

El análisis de las relaciones espaciales y su conexión con la competencia por recursos es un aspecto de gran importancia no sólo en poblaciones forestales naturales, sino también en plantaciones. El problema de definir el espaciamiento en relación con la evolución del rodal es un aspecto de importancia práctica y teórica enfrentada por varios autores. Martin (1995) describe las distancias de interacción entre individuos de distintas especies, así como de la misma especie en renovales de Roble-Raulí. Laroze (1985) realiza un análisis similar con poblaciones de Lengua; Hegyi, Brown, Moore et al citados por Daniels (1986), entre otros, definen índices para la descripción o explicación de la competencia en relación al tamaño de los individuos y distancias

El comportamiento del crecimiento individual está regulado por el sitio en etapas tempranas y luego por el efecto de competencia por recursos. La estimación del crecimiento individual requiere de una variable capaz de reflejar de forma lo mas veraz posible, el efecto que tiene la competencia sobre los individuos. Una de las variables que estima el grado de competencia a que un individuo es sometido es el cálculo de la dominancia o preponderancia del individuo sobre los demás. Se entiende por dominancia (Laroze 1985) a la gradiente de influencia que un individuo ejerce sobre un área disponible para su desarrollo y sobre los individuos que cohabiten con él en ese espacio. El cálculo de la dominancia se realiza sobre la base de las posiciones de los árboles en el plano cartesiano, considerando las distancias entre individuos, el número de competidores y el tamaño de los mismos. Se propone en este trabajo el uso de un índice capaz de describir la dominancia de cada individuo de acuerdo a su posición relativa en el plano cartesiano y que permite su uso como una más de las variables de estado del individuo. Se plantea este índice basado en un análisis del comportamiento de los individuos en relación con su crecimiento, considerando a éste último como la variable que permite validar la aproximación a la dominancia por parte del índice.

Así, en el marco del proyecto INFOR (filial CORFO) "Investigación Modelos de Simulación para renovales de Roble-Raulí" se generó el índice de Dominancia o preponderancia individual como una forma de estimar el efecto que los individuos tienen entre sí como producto de la competencia por recursos, utilizando esta medida como una variable de estado modificadora de crecimiento potencial (Bahamóndez 1993,1994).

DATOS

Para realizar la validación del índice y su grado de correlación con el incremento anual corriente en diámetro a la altura del pecho (DAP), se utilizan datos provenientes de las parcelas permanentes instaladas por INFOR como parte del proyecto "Investigación Modelos de Simulación para Renovales de Roble-Raulí". Estas parcelas

se encuentran localizadas en el límite entre las VIII y IX Regiones, frente a la Reserva Nacional Malleco, específicamente en los predios El Morro, El Carmen y Maitenes.

Se utilizan las bases de datos asociadas a estas parcelas permanentes en lo relativo a las coordenadas cartesianas, DAP, e incrementos anual corrientes en DAP para cada uno de los individuos contenidos en ambas parcelas permanentes. La superficie de estas parcelas es de 1 hectárea cada una.

MODELO DE DOMINANCIA Y MÉTODO DE ESTIMACIÓN

El modelo de estimación de la dominancia tiene su origen en la necesidad de explicar el comportamiento y tendencias del incremento en diámetro para los individuos de las parcelas permanentes. La generación del índice de Dominancia nace de la concepción del sistema árbol - árbol competidor como un sistema de tensión provocado por los tamaños de cada individuo, la distancia entre ellos y el área donde se ejerce influencia efectiva. Una de las primeras aproximaciones al índice fue la utilización de la Ley de Gravitación Universal descrita por Newton en el siglo XVII, la cual explica la atracción de masas de distintos tamaños de acuerdo a la distancia entre ellos y el tamaño de los cuerpos. Se plantea así, la ecuación preliminar:

$$\text{de } F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad \text{a} \quad W = (k) \frac{D_1D_2}{d^2}$$

donde:

D_1, D_2 : tamaño de los cuerpos 1 y 2.

d^2 : distancia entre los individuos.

k : Constante.

Este modelo preliminar fue conceptualizado y validado por la evidencia empírica descrita por los datos de las parcelas permanentes generando una versión final del índice de Dominancia (W) la cual se describe a continuación.

Caso de un Individuo Contra Otro.

Si se tiene la Figura N° 1 con la siguiente situación espacial:

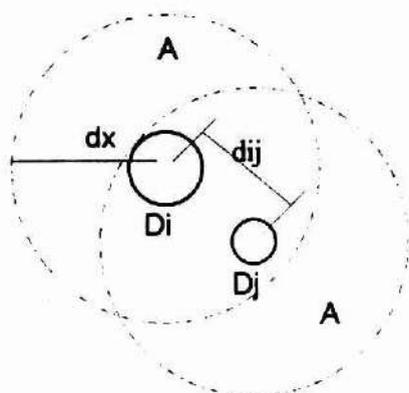


Figura Nº1. SITUACIÓN ESPACIAL PARA EL CASO DE 2 INDIVIDUOS COMPETIDORES.

donde:

el individuo i presenta un diámetro D_i y el individuo j tiene un diámetro D_j .

d_{ij} es la distancia entre los individuos i y j .

dx es el radio máximo de influencia de los individuos $i=1,n$ y $j=1,n$.

El efecto de la presencia del individuo i en el área $A = \pi dx^2$ será mayor o menor sobre el individuo j de acuerdo a la distancia d_{ij} existente entre el individuo i y el individuo j . El área A representa al área de influencia de cada individuo y dx se utiliza como un índice que aproxima A .

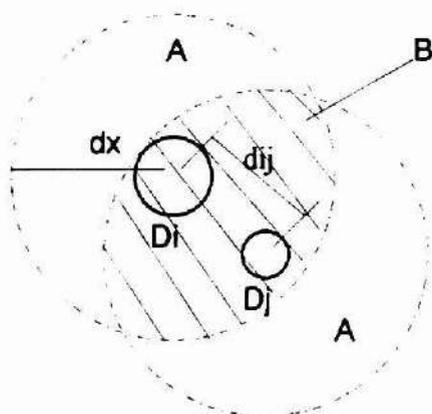


Figura Nº2. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE DISPUTA B

Si se considera el área achurada B (Figura Nº 2) como el área en disputa o bajo competencia, entonces la expresión:

$$k = \frac{1}{dx - dij} \quad (1)$$

será un indicador del área bajo disputa. La Figura Nº3 describe el comportamiento de k para varias distancias entre individuos.

Valores de k para distintos valores de $dx-dij$

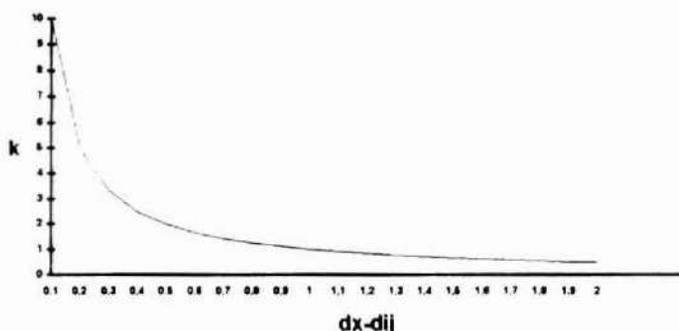


Figura Nº3. COMPORTAMIENTO DE LOS VALORES DE k PARA DISTINTOS VALORES DE $DX-DIJ$.

De la Figura Nº 3 es posible observar que con valores de $dx-dij$ muy pequeños, k toma valores muy altos. Esto implica que el área B , reduce su tamaño indicando un aumento de la influencia del individuo i sobre su área de influencia.

Por otro lado, si se considera que la existencia de 2 individuos en el área A , representa competencia por los mismos recursos de esa área. Esta competencia será más alta mientras más escasos sean los recursos disponibles reflejándose al fin en diferencias de tamaños de los individuos i y j . Si las diferencias son evidentes más pronto, entonces los recursos serán menores y viceversa. El tamaño de los individuos puede considerarse, entonces, como un estimador de la disponibilidad de los recursos. Es decir, si existen 2 individuos en el área A , ésto indicaría la posibilidad que el sitio al

menos permite la existencia de 1 individuo igual a la suma de los diámetros en ella contenida. Una medida de la disponibilidad de recursos del área A será entonces la expresión:

$$S = \frac{1}{D_i + D_j} \quad (2)$$

Así, si en el área A existe un individuo muy pequeño, el valor de S será muy grande. Al contrario S disminuye en la medida que éste sea más grande.

Si se combinan las expresiones (1) y (2), ponderando S mediante k , se obtiene una aproximación a los recursos que se disputan en el área de interacción B . Si el área B de interacción es muy pequeña los individuos dispondrán de más recursos. Por el contrario, si los individuos se encuentran en un área de interacción o disputa B muy grande, los recursos se tornarán mucho más escasos.

$$W = kS \quad (3)$$

La variación de tamaños de los individuos incluidos en el área B , cuando los individuos son coetáneos se considera como un reflejo del efecto de la competencia por recursos. Así, una variación muy alta indicaría un proceso de competencia muy prolongado, en el cual, el crecimiento de los individuos contenidos en el área B , se ha visto afectado como una forma de mantener el balance y capacidades del entorno inmediato. Para conocer qué proporción de los recursos disponibles en el área está siendo capturada por el individuo i , la expresión (2) se modifica a:

$$S = \frac{D_i - D_j}{D_i + D_j} \quad (4)$$

Si el valor de S es cercano a +1, entonces el individuo i habrá superado al individuo j , dominando por completo su área de influencia. Valores cercanos a -1, indican, por el contrario, que el individuo i está siendo dominado por el individuo j . Así la evaluación de cuantos recursos en disputa y cómo son aprovechados por el individuo i , es definida por:

$$W = 1/2[kS] \quad (5)$$

Generalización a n Individuos

El análisis de las Figuras N° 1 y N° 2, describen la situación ideal y más simple de interacción individual, el caso de $i=1$ contra $j=1$ ($n=2$). Sin embargo, la situación real es de $i=1, \dots, n$ con $n>2$. De acuerdo a esto, la expresión S , debe extenderse al caso de n individuos competidos contra $n-1$ individuos competidores que comparten el área de influencia A .

Así la expresión (4),

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{D_i - D_j}{D_i + D_j} \quad (6)$$

donde S describe la interacción de n contra $n-1$ individuos competidores. Luego la aproximación a los recursos en disputa descrita por (5) queda para el caso de n individuos:

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n kS \quad (7)$$

ó

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{dx - dij} \frac{D_i - D_j}{D_i + D_j} \quad (8)$$

que es el índice de dominancia para el individuo i sobre los individuos j que comparten el área de influencia A .

RESULTADOS

El cálculo del valor de W se realiza para cada periodo de proyección de la ecuación de crecimiento en diámetro, ya que pasa a ser una variable de estado más, de aquellas

que suelen caracterizar al individuo como DAP, Altura Total, Diámetro de Copa, Altura al inicio de Copa, etc. Puesto que el índice W pretende explicar el comportamiento del incremento anual corriente en diámetro debido a la competencia por recursos, este valor debe validarse de acuerdo al grado de correlación que exista con los valores de incremento anual corriente para cada individuo. La relación incremento anual corriente y W se muestra en la Figura N°4.

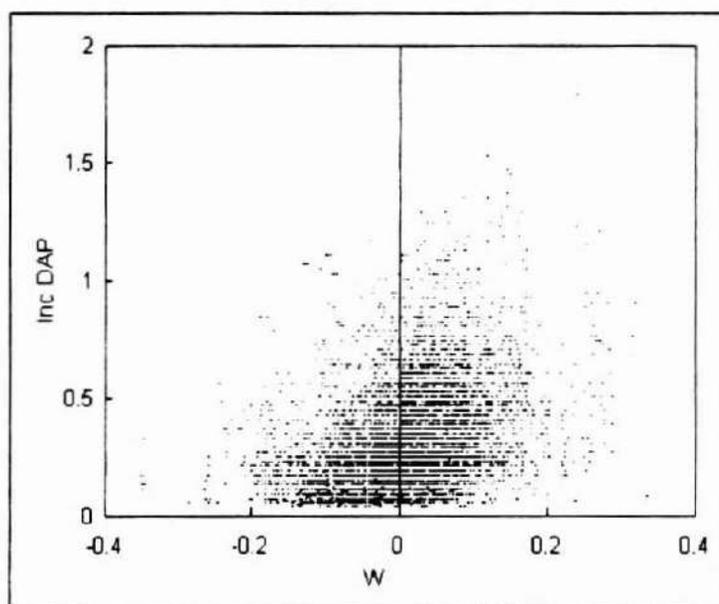


Figura N°4. RELACIÓN INCREMENTO ANUAL CORRIENTE Y W .

En la Figura N° 4 es posible observar que existe una relación entre el valor de la Dominancia W , y los valores de incremento diametral. Valores más bajos de W se asocian a valores más bajos de incrementos. No obstante, en valores positivos de W la dispersión de los datos aumenta, esto probablemente a efectos ajenos a la competencia por recursos lo cuál implicaría cambios en la oferta de recursos por parte del sitio o entorno inmediato. La figura N°5, describe para una parcela de 25 x 25 m, el efecto que diferentes individuos tienen entre sí en DAP y W debido al hecho de compartir recursos.

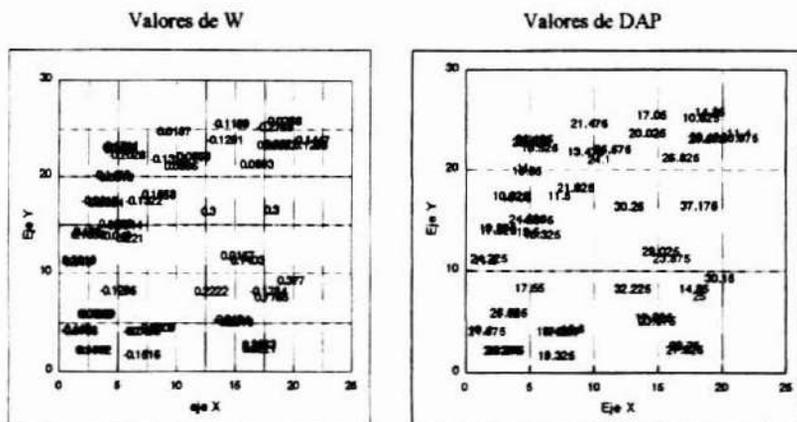


Figura N°5. VALORES DE W Y DAP DE ACUERDO A SITUACIÓN ESPACIAL

Es notorio el efecto de los individuos competidores de acuerdo a su situación en el espacio cartesiano. Así, individuos de diámetros mayores como $DAP=37,175$ y $DAP=30,25$ se desarrollan con una plena dominancia y un valor de W de valor positivo y muy grande. Por otra parte, individuos como los $DAP=17,05$ y $DAP=17,55$ presentan valores de W negativos reflejando la situación de cercanía de individuos competidores. Los valores de W muy positivos describen una situación de dominancia sobre una cierta área de influencia. Esta área fue definida como aquella área circular de radio $r=4.1$ m, según las conclusiones de Martin (1995) como la distancia de interacción. Así sobre la base de los valores de incremento y DAP observados y los valores de W asociados, es posible entonces definir una distancia al individuo más cercano que es reflejo de los requerimientos mínimos de espacio que cada individuo presenta para su estado evolutivo y los recursos disponibles en el entorno inmediato.

CONCLUSIONES

La aplicación de un índice que permita una buena aproximación a las relaciones de competencia/dominancia en poblaciones de Roble-Raulí es posible y su uso como modificador del crecimiento de acuerdo a la correlación con el incremento anual corriente en diámetro permite la simulación de raleos y la predicción del crecimiento en diámetro. La aplicación práctica de este tipo de índices sin embargo, al igual que otros similares es dificultosa, puesto que supone un conocimiento detallado del rodal al nivel de la posición individual, aspecto que sólo puede ser rescatado como variable durante el muestreo. No obstante, es posible solucionar esto evitando el recargo en terreno de la medición engorrosa de una variable como la posición mediante el uso de modelos de estimación espacial los cuales permiten sobre la base de las características de las

distribuciones espaciales del tipo forestal, generar poblaciones con posiciones estadísticamente similares sobre la base de la tabla de rodal (Tomppo 1986 com. personal, Laroze.1985, Martin 1994).

REFERENCIAS

- Affi A.A & Azen S.P.**1979 Statistical Analysis a Computer Oriented Approach Academic Press.
- Bahamóndez C. Martín M. Kalher C. Blanco R.** 1992. Investigación Modelos de Simulación Renovales de Roble Raulí. Etapa preliminar. Informe final.
- Bahamóndez C.,** 1993. Investigación de Simulación para Renovales de Roble y Raulí. Informe Anual INFOR - CORFO:
- Bahamóndez C.,** 1994. Investigación de Simulación para Renovales de Roble y Raulí. Informe Anual INFOR - CORFO:
- Daniels R. ; Burkhardt, H.**1986. A Comparison of Competition Measures for Predicting Growth of Loblolly Pines Trees. Canadian Journal of Forest Research. Vol 16, N°4, pp 1230-1237.
- Halliday y Resnick.** Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. CECSA. 1967
- Laroze A.** 1985. Modelo de Estructura Espacial para Rodales Puros de Lengua. Tesis U. Austral de Chile. Fac.de Cs Forestales Valdivia. Chile.
- Martin M,** 1994. Análisis Espacial en Renovales de Roble Raulí. Ciencia e Investigación forestal. Vol 8, N°2
- Tomppo E.,** 1986. Comunicación Personal.

FENOLOGÍA DE *E. globulus*, *E. nitens* Y *E. camaldulensis* EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE: ESTUDIO PRELIMINAR.

VERÓNICA LOEWE M (*), CARLOS ALVEAR S (**) Y FRANCISCO SALINAS A. (***)

(*) Ingeniero Forestal, INFOR

(**) Médico Veterinario, Dr. Cs. Agr., INFOR

(***) Técnico Forestal, INFOR.

RESUMEN

Desde 1988 el Instituto Forestal se encuentra ejecutando un completo estudio sobre el mejoramiento genético del género *Eucalyptus*. Uno de los objetivos de este estudio es la instalación de un huerto semillero de polinización directa. Para tal efecto es necesario un completo conocimiento del comportamiento fenológico de especies, procedencias y familias.

Para conocer los diversos tópicos fenológicos se realizó un estudio preliminar en etapa de viverización en especies de *E. globulus*, *nitens* y *camaldulensis*, en la temporada 1993 y 1994, fase previa a los estudio de terreno.

Junto con entregar los resultados de la toma de datos en las tres especies se anexan antecedentes Morfológicos, edad de floración, fenología floral y fenofases del ciclo reproductivo. Se observa un desarrollo fenológico continuado, donde la liberación de semillas ocurre durante todo el año, presentando una mayor abundancia en el período estival.

En la especie *E. globulus* el estudio arrojó similitudes entre procedencias (Victoria y Tasmania), diferenciándose sólo en su desarrollo fenológico en distintas etapas del seguimiento, (precocidad en procedencia Tasmania).

El *Eucalyptus nitens* presenta una alta sensibilidad a los cambios climáticos lo que genera una alteración en su comportamiento Fenológico. La liberación de semilla es inhibida en los meses invernales. Por el contrario en el cuatrimestre Noviembre - Febrero ocurre la mayor liberación de semillas. En cuanto al comportamiento entre procedencias (Nueva Gales del Sur - NSW y Victoria), sus diferencias son mínimas.

En *E. camaldulensis* la producción de semillas es prácticamente durante todo el año, al igual que la maduración de frutos.

Si bien el estudio es de carácter preliminar, en cierta medida presenta el comportamiento de las especies en la zona central de Chile, variando el potencial geográfico de las especies. Esto permite establecer parámetros de comparación, siendo enriquecido por mediciones de ensayos ubicados en zonas estratégicas de interés.

Cabe destacar que las tres especies presentan desarrollo floral durante todo el año; sin embargo, el comportamiento fenológico es variable de año a año, lo que refuerza la necesidad de ejecutar un seguimiento de al menos tres años en las distintas áreas de crecimiento a fin de obtener una información precisa y confiable.

ABSTRACT

Since 1988 the Instituto Forestal (Forestry Research Institute) is carrying out a study on the genetic improvement of the *Eucalyptus* genus. One of the objectives is to install a seed orchard of direct pollination, and therefore a previous knowledge of the floral behavior was required, including species provenances and families.

A preliminary study on nursery stages was carried out for *E. globulus*, *E. nitens* an *E. camaldulensis*, in the Summer seasons of 1993 and 1994. The results indicate that seeding occurred in all seasons with a peak in the Summer. As there were variations in this behavior from year to year, a three-year monitoring has been recommended.

INTRODUCCIÓN

Desde 1988 el Instituto Forestal se encuentra realizando un completo estudio sobre el género *Eucalyptus*, que considera la silvicultura, el manejo y el mejoramiento genético de las especies más promisorias del género. Para el estudio relativo al mejoramiento genético una de las etapas fundamentales es el conocimiento acabado del comportamiento fenológico de las especies, procedencias y familias de interés.

El comportamiento fenológico, es decir los cambios que presenta la floración con respecto al transcurso del tiempo, es uno de los aspectos de importancia a considerar la planificación y la instalación de un huerto semillero de polización directa. Si las familias consideradas en una cierta superficie florecen al mismo tiempo, tendrán iguales oportunidades de cruzarse entre sí, favoreciendo la panmixia. Conociendo entonces el comportamiento fenológico de diferentes procedencias y familias es posible ordenarlas espacialmente, de modo de reducir al mínimo la endogamia.

Además, lo anterior permite planificar cuidadosamente las actividades de polinización controlada, necesarias en todo programa de mejoramiento genético.

El trabajo presentado a continuación corresponde a un estudio preliminar realizado en vivero, en la ciudad de Santiago, con tres especies (*E. globulus*, *E. nitens* y *E. camaldulensis*), durante los años 1993 y 1994, etapa previa a los estudios en terreno, actualmente en curso en ensayos de campo en diferentes regiones.

ANTECEDENTES

Características Generales

En la actividad forestal los productos son derivados del crecimiento vegetativo más que del crecimiento reproductivo de los árboles (frutos). Sin embargo, con la excepción de una minoría de especies que se reproducen vegetativamente en forma comercial, es necesario conocer y manejar la biología reproductiva de las especies forestales con el objetivo de regenerar los cultivos. Se trata de producir semilla en huertos manejados en forma óptima con respecto tanto a cantidad como a calidad genética y fisiológica (Sedgley y Griffin, 1989).

Dentro del género *Eucalyptus* existe gran diversidad de estructuras reproductivas de diferentes especies (tamaño, forma y color de las yemas florales, flores y frutos); estas características, junto con otras, son heredables, y de hecho contribuyen a la definición de las especies (Boland et al., 1980).



El género **Eucalyptus** presenta un sistema reproductivo con características de hermafroditismo, dicogamia, autoincompatibilidad y partenocarpia (Sedgley y Griffin, 1989).

Dentro de este género, las especies comerciales se concentran fundamentalmente en dos subgéneros, **Symphomyrtus** y **Monocalyptus**, los que difieren en características tales como desarrollo del opérculo, anatomía del involucre de la semilla y distribución de los óvulos y ovuloides (Hodgson, 1976a).

El opérculo es formado por la fusión de los pétalos. En las especies del subgénero **Monocalyptus** éste es simple, mientras que en los subgéneros **Symphomyrtus** y **Corymbia** es una estructura doble. Cuando el opérculo es doble, el exterior puede caer al inicio del desarrollo de la yema floral, como ocurre en *E. camaldulensis*; cerca de la floración, como en *E. cosmophylla*; o pueden caer ambos opérculos juntos en el momento de la floración, como en *E. polycarpa* (Op. cit.).

Dentro del subgénero **Monocalyptus**, generalmente las semillas son más uniformes que en otros subgéneros en cuanto a tamaño, forma y color (son de color café o negro en forma más frecuente); generalmente no se encuentra paráfisis subulada. Por el contrario, en el subgénero **Symphomyrtus** la semilla puede ser cuboidal, piramidal, elíptica, de color blancuzco, gris, amarillo, rojo, café o negro (Boland et al., 1980).

Morfología Floral

Las flores de los eucaliptos no presentan pétalos típicos, y el color está dado por los estambres. Internamente la yema floral muestra la estructura básica de una flor bisexual, con un estaminóforo que sostiene los estambres, y el ovario, estilo y estigma. Cuando el opérculo se desprende las anteras poseen polen maduro, pero el estigma normalmente no está receptivo hasta unos días después; esta secuencia impide la autopolinización de la flor (Urrutia, 1992).

Eucalyptus globulus

La especie presenta inflorescencias unifloras, siendo las flores solitarias, auxiliares, sin pedicelo, con receptáculo rugoso, cuadrangular, de 20-25 mm; opérculos en forma de sombrero, glaucos (Op cit.).

Los frutos son grandes (2,5 cm de diámetro), solitarios, no pedicelados, glaucos, semipiramidales, cuyos receptáculos terminan en un gran reborde en la unión con el disco calicinal; presentan cuatro valvas, incluidas o rasantes. En general los frutos están maduros cuando se tornan color café, duros y leñosos.

Eucalyptus camaldulensis

El *E. camaldulensis* presenta una inflorescencia axilar, no ramificada, de 7 a 11 (raramente 13) flores, pedúnculos esbeltos, angulares de 0,4 a 2,5 cm de longitud. Yema pedicelada (con pedicelos a veces hasta 1 cm de largo) de 0,5 - 1,0 por 0,4 - 0,6 cm, con presencia de escamas. El opérculo es fuertemente aguzado, los estambres inflexos, todos fértiles; anteras versátiles, abiertas con ranuras longitudinales, flores blancas. El periodo de floración en Australia es entre Julio y Febrero. El fruto pedicelado, hemisférico (ovoide incluyendo el disco), entre 0,3 - 0,7 por 0,4 - 1,0 cm, de bordes gruesos, disco amplio, ascendente; valvas en número de 4 (raramente entre 3 y 5), fuertemente exertas; semilla amarilla, forma cuboide, con ángulos y caras suaves (Brooker y Kleinig, 1990).

Eucalyptus nitens

Las inflorescencias de *E. nitens* son axilares y simples con umbelas de unas 7 flores, siendo cada una de ellas de unos 7x3 mm. Las yemas de los primordios se hacen visibles cerca de 12 meses antes de la floración, y las semillas maduran cerca de un año después de la polinización (Tibbits, 1989).

Con respecto al desarrollo del polen, Gore et al. (1990) examinaron el crecimiento de tubos polínicos de *E. globulus* y *E. nitens* en estilos de *E. globulus*, para aclarar el problema de la barrera unilateral existente para la hibridación; se concluyó que ésta se debe a una barrera estructural por el límite natural de crecimiento del tubo polínico respecto a la longitud del estilo (en el día 28, cuando el estilo cae, el tubo polínico de *E. nitens* sólo ha crecido 6 mm, siendo el primero de 9-10 mm de longitud). Esta barrera se presenta antes de la fertilización, y no es debida a una inhibición de la penetración inicial o de la germinación del grano de polen.

El mismo fenómeno fue observado in vitro, donde los tubos polínicos de *E. nitens* crecen mucho menos que los de *E. globulus*; también en otras especies (*E. ovata*, *E. urnigera*, *E. gunni*) existe una alta correlación entre la longitud del estilo y la longitud del tubo polínico germinado in vitro.

Al respecto, existen barreras abocadas a impedir la polinización (cleistogamia, posición de los estambres con respecto al estigma); después de la polinización la fertilización puede ser alterada por varias causas, entre las cuales podemos citar:

- autoinfertilidad (poca semilla fértil);
- incompatibilidad de germinación del polen;
- incompatibilidad de crecimiento del tubo polínico.



Además se ha visto que existe la fertilización selectiva, que se traduce en que al mezclarse los pólenes se ven favorecidas las cruizas y no la autopolinización.

Aún después de la fertilización se puede producir el aborto del embrión o la inviabilidad de la semilla, fenómenos todos que miran a impedir o dificultar la autogamia, la que se estima mediante el uso de marcadores genéticos (Hodgson, 1976b).

Edad de Floración

No existen muchos antecedentes sobre las edades a las que las diferentes especies alcanzan la madurez reproductiva, salvo algunos casos como *E. grandis* (2-3 años), *E. leucocydon* (2 años) y *E. woodwardii* (antes de un año).

En todo caso los eucaliptos entran en floración en edades tempranas, existiendo variaciones para una misma especie según altitud, ubicación geográfica y condiciones climáticas.

La inducción floral depende de factores tales como:

- juvenilidad;
- dormancia;
- factores ambientales (altitud, clima);
- desarrollo floral; y
- reguladores de crecimiento.

Entre los últimos influyen en la floración sustancias químicas tales como el chlormequat, el alar, el TIBA, el paclobutrazol, las giberelinas (inducen floración en muchas gimnospermas), el ácido giberélico (la inhibe) y las citoquininas (pueden promover la iniciación floral).

Algunas especies como *E. nitens* y *E. globulus* producen semillas en forma irregular (son "añeros"); en *E. regnans* la floración en los años buenos puede llegar a ser 25-65 veces mayor que en los años pobres (Ashton, 1975b).

Con respecto a los factores ambientales, en líneas generales a mayor altitud y a menores temperaturas la floración se prolonga en el tiempo.

Con respecto al crecimiento vegetativo, en general en los eucaliptos existe una profusa ramificación estacional de ramas axilares, pero relativamente pocas de ellas (2-5) compiten con la rama apical durante los primeros años de crecimiento (es decir, la dominancia apical es elevada); las yemas axilares que permanecen 5-7 cm bajo la yema terminal pueden ocasionalmente crecer más rápido que el brote principal. En todo caso

existe una gran variación en la tasa de crecimiento entre distintas plantas, y también entre las ramas de una misma planta (Ashton, 1975a).

La curva de crecimiento estacional es sigmoidea, a pesar de presentarse variaciones de año en año.

El crecimiento invernal varía con la altitud; en inviernos suaves pueden haber elongaciones de hasta 2 mm/mes, y no se producen nuevas hojas.

Por otra parte el patrón de crecimiento estacional de árboles adultos y de formas juveniles puede diferir considerablemente.

Una temperatura media de 5,0-7,5 °C es el límite de crecimiento activo. A su vez el crecimiento se detiene cuando la temperatura mínima se mantiene a -2 °C por una o dos semanas, y se inicia cuando la temperatura se mantiene 11-12 días a 12,5 °C; o cuando se mantiene 6-7 días a 15 °C; o por más de 2-3 días a unos 17,5 °C.

Con temperaturas altas en invierno el crecimiento se activa de inmediato, pero a tasas de sólo una cuarta parte de las de primavera debido a la luminosidad inferior. El crecimiento también está influenciado por la disponibilidad de agua.

Cabe notar que los factores que causan la dormancia pueden no ser los mismos que inician el crecimiento.

Se ha visto que una mayor duración del día no afecta la tasa de crecimiento. En los eucaliptos los días cortos no inducen dormancia, pero con temperaturas adecuadas y una mayor duración del día hay un mayor crecimiento (Op cit.).

En un estudio realizado en Italia por Valenziano y Scaramuzzi (1967) se observó que *E. camaldulensis* florece entre julio y agosto (verano europeo), y que *E. viminalis* lo hace entre noviembre y febrero (otoño e invierno europeo). Sin embargo, analizando el crecimiento en diámetro de los fustes constataron que el comportamiento es similar en las dos especies, iniciándose a principios de marzo y disminuyendo paulatinamente hasta anularse en junio; después de un receso estival el crecimiento recomienza en julio para detenerse en diciembre. El reposo invernal obedecería a las bajas temperaturas más que a un verdadero período de reposo, ya que no conlleva estructuras preparatorias de defensa, sino que solamente se suspende el crecimiento. El reposo estival respondería a una fase de mayor intensidad de foliación, con una consiguiente competencia nutricional; en otros casos también se verifica debido a stress hídrico.

La carencia de receso invernal propiamente tal también fue observada en este estudio tanto en *E. nitens*, *E. camaldulensis* como en *E. globulus*.

Las especies del género *Eucalyptus* muestran gran variación en el período de floración. A pesar de que el máximo puede ser regular, algunas especies llegan a florecer intermitentemente durante gran parte del año, aunque también pueden encontrarse variaciones entre un rodal y otro (Griffin, 1980).

El periodo de floración puede ser identificado por medio del conteo de los diferentes componentes florales colectados en trampas ubicadas bajo los árboles, o por medio de observaciones periódicas (generalmente mensuales).

Tibbits (1989) en cuatro años de estudio observó que la época de floración de *E. nitens* es muy diferente de año en año.

La mayoría de los árboles empiezan y terminan la floración dentro de un arco de 3-4 semanas. Sin embargo, el margen de época de floración dentro de una procedencia es a menudo uniforme. El mismo autor sugiere la existencia de un fuerte control genético sobre la floración, al menos a nivel de la población.

También Griffin (1980) considera que existe control genético sobre las características de la floración: se ha observado variación genética en la época de floración en individuos de 6 años.

Cabe notar que dentro de una misma procedencia existen diferencias en los tiempos de floración entre los individuos de forma juvenil y adulta. Asimismo, las semillas de árboles juveniles maduran cerca de 2 meses antes que las de formas adultas (Tibbits, 1989). Coincide Ashton (1975b), quien indica que en un mismo sitio los árboles de mayor edad tienden a florecer más tarde que los jóvenes.

Por otra parte los árboles adultos presentan yemas florales más redondeadas que las juveniles; los pedúnculos son más largos y las cápsulas presentan valvas más exertas.

Dentro de un individuo se observa que el periodo de floración depende del número de flores / umbela. Las inflorescencias con muchas flores tienden a abrir durante un periodo más largo que aquellas con pocas flores. Las subramas dentro de una rama tienden a ser más sincronizadas con respecto a otras ramas (Griffin, 1980). El periodo de floración de una rama dura la mitad del periodo total del árbol.

Las diferencias existentes entre árboles en duración y máximo de floración puede llevar a problemas de manejo, particularmente si se establecen huertos semilleros con individuos que se han desarrollado en ambientes diferentes.

Fenología Floral

Las observaciones fenológicas son de gran valor en la interpretación de la estructura de las poblaciones naturales para el mejorador, quien necesita asegurar que los productos de su programa de selección sean exitosos (polinizaciones controladas) bajo condiciones de huertos semilleros (Op cit.).

La copa de un árbol puede ser considerada como una población heterogénea de ramas y hojas, desigualmente sujetas a los factores ambientales. Por esto es importante decidir si los estudios fenológicos se deben realizar en toda la copa o solamente en algunas ramas: ésta última opción podría no ser una aproximación correcta a los

eventos de todo el dosel. Este es un tópico importante, ya que las mediciones en terreno son dificultosas y caras.

En todo caso el mismo autor afirma que el tamaño de la muestra no es importante a la hora de determinar las características de la floración, pues en árboles vecinos ésta tiende a sincronizarse.

Oliveira et al. (1993) indican que las áreas de la copa que reciben mayor radiación tienen mayor crecimiento y producen más biomasa.

La intensidad de floración es independiente del tamaño del árbol, pero hay una tendencia para los árboles con una gran copa cargada de yemas a florecer por un período de tiempo más prolongado que aquellos con una copa ligera (Griffin, 1980).

En un estudio realizado en India por Venkatesh y Sharma (1975) se constató que todas las especies estudiadas presentaban solamente un comportamiento fenológico, salvo *E. camaldulensis*, cuyas procedencias del norte y del sur presentaron comportamientos diferentes (tal vez debido a diferencias fisiológicas).

La época de floración de *E. globulus* spp *globulus* se produce entre los meses de Septiembre a Diciembre, y la de cosecha de semillas entre Diciembre - Febrero (Urrutia, 1992).

El *E. nitens* en Tasmania florece en verano (Tibbits, 1989).

Como ya se ha mencionado con respecto a la semilla producida, especies tales como *E. camaldulensis*, *E. grandis* y *E. saligna* generalmente presentan cosechas abundantes cada 2-3 años; en *E. regnans* el período es cada 2-4 años. Estos antecedentes son de importancia al momento de planificar la cosecha y producción anual de plantas.

METODOLOGÍA

El estudio consideró la medición semanal durante un año de 64 individuos de *E. globulus*; 41 de *E. nitens* y 12 de *E. camaldulensis*, de una altura media de 1.65 m. mantenidos en bolsas plásticas de 20 cm de diámetro. Para cada especie se consideraron diferentes procedencias de interés. Sin embargo, para efectos del análisis estadístico algunos individuos fueron eliminados debido a la presencia de abortos.

El formulario utilizado consideró información tal como: N° y fecha de control, especie, controlador, etapa del ciclo vegetativo y del ciclo reproductivo. Las mediciones se realizaron mediante una escala fenológica determinada en estudios previos y con la asistencia de expertos australianos, la que considera 10 fenofases del ciclo reproductivo



(Cuadro Nº 1), y 2 del ciclo vegetativo (fase de crecimiento vegetativo y fase de receso vegetativo), apta para las especies en estudio.

En las Figuras Nº 1 a Nº 3, se destacan las primeras fases en diferentes especies de *Eucalyptus*.

Cuadro Nº 1.
 FENOFASES DEL CICLO REPRODUCTIVO.

| FENOFASE | ESTADO DEL INDIVIDUO |
|----------|--|
| 0 | Se presenta una bráctea que envuelve a la yema única o a la inflorescencia; es válida para todas las especies del género, aunque se trata de una fase muy breve. Generalmente <i>E. globulus</i> ssp <i>globulus</i> presenta una yema, pero no es así siempre, presentando algunas procedencias 2-3 yemas múltiples (por ejemplo en West Coast, Flinders Islands, King Island). |
| 1 | Yemas Florales: La bráctea (verde) se oscurece, seca y cae, apareciendo las yemas. |
| 2 | Yemas Hinchadas: Las yemas se presentan engrosadas. En el caso de <i>E. globulus</i> y <i>E. nitens</i> en esta fase se pierde el opérculo exterior (glauco). En el caso de <i>E. camaldulensis</i> esta fase se caracteriza por el aumento de tamaño y por el color rojizo en la zona de unión entre el opérculo y la cápsula, y por las manchas rojizas que aparecen en el opérculo mismo, el cual se presenta alargado y engrosado en su prolongación. |
| 3 | Apertura del Opérculo: El opérculo empieza a abrirse. Los estambres se encuentran doblados sobre sí mismos en el interior de la cápsula. |
| 4 | Floración: La flor se encuentra en anthesis. Algunos días más tarde el estigma se encuentra receptivo y brillante, debido a la acción de las sustancias segregadas para favorecer la polinización (<i>E. globulus</i> 6-8 días, <i>E. nitens</i> 6-10 días más tarde). |
| 5 | Caída de los Estambres: Los estambres se marchitan y caen. En esta fase el estilo se puede observar en tres estados: verde, café (marchito), o ausente, habiéndose desprendido. |
| 6 | Fruto Inmaduro: Formación y crecimiento del fruto, que se observa de color verde. |
| 7 | Fruto Maduro: Los frutos alcanzan un aspecto más leñoso. En el caso de <i>E. camaldulensis</i> y <i>E. nitens</i> el fruto adquiere un color rojizo. |
| 8 | Caída de Semillas: Las semillas son liberadas. |
| 9 | Caída del fruto: Los frutos se desprenden y caen. |



Figura N° 1: FASE DE YEMA FLORAL (1) EN *E. nitens*.

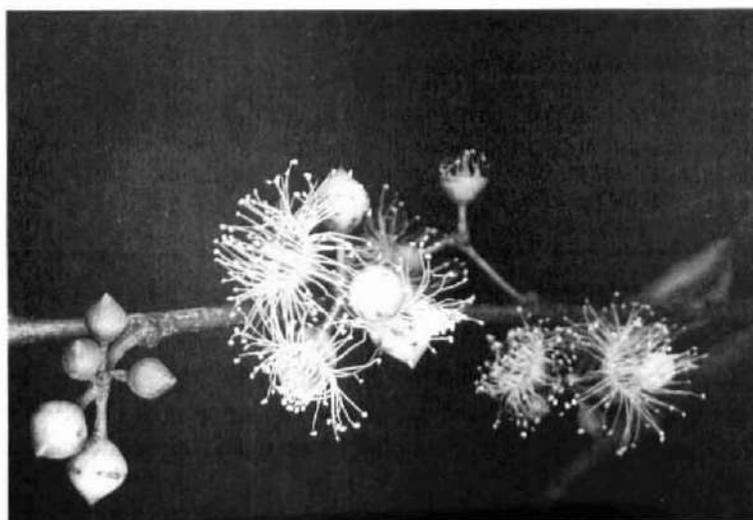


Figura N° 2: FASE DE YEMA HINCHADA (3) EN *E. globulus*.



Figura N° 3: FASES QUE INCLUYEN DESDE YEMA FLORAL (2)
A FRUTO INMADURO, EN *E. nitens*.

Posteriormente los datos fueron procesados mediante un análisis grupal "cluster" para reunir los individuos en las categorías de precoces, intermedios y tardíos, y analizar el comportamiento de cada especie.

Para determinar el porcentaje correspondiente a cada fenofase se evaluó toda la copa del árbol, estimando cualitativamente dicho parámetro.

RESULTADOS

E. globulus

De las observaciones realizadas se concluye que con respecto al ciclo vegetativo la especie se mantiene activa en crecimiento durante todo el año, sin evidenciar un receso propiamente tal.

Con respecto al ciclo reproductivo, destaca el hecho de que en la localidad estudiada la floración se detiene solamente en un corto período a principios de invierno, con máximos en primavera y verano (Figura N° 5b.). La liberación de las semillas ocurre durante todo el año, con un máximo en verano debido a la apertura por calor de las cápsulas.

La producción de nuevas yemas se produce tanto en primavera como otoño.

El estado fenológico de *E. globulus* a través del año muestra una gran variabilidad, atribuible a una condición individual de cada árbol, ya que se observan individuos que mantienen un estado fenológico relativamente constante durante todo el año (fruto maduro) y el resto de los estados en períodos muy cortos. El comportamiento fenológico de *E. globulus* se entrega en el Figura N° 4; además se grafican las fases de apertura del opérculo (Figura N° 4a.), de floración (Figura N° 4b.) y de caída de semillas (Figura N° 4c.), respectivamente.

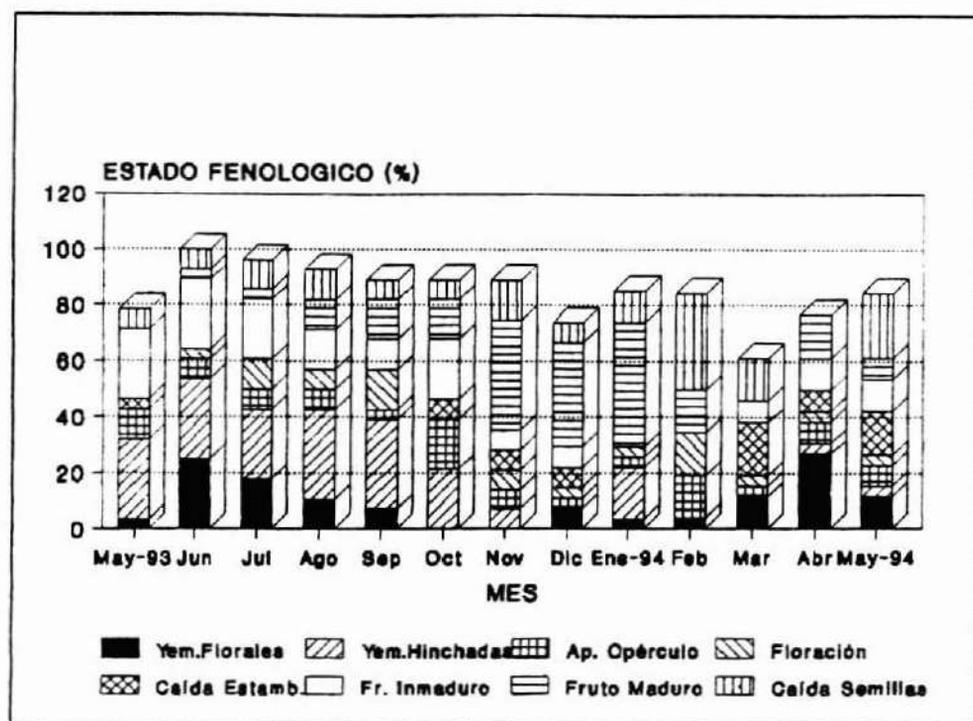


Figura N° 4. COMPORTAMIENTO FENOLOGICO DE *E. globulus*.

En general el comportamiento entre procedencias (Victoria versus Tasmania) fue muy semejante, no existiendo diferencias significativas; esto se debería principalmente a la variabilidad observada (margen de las observaciones), determinándose tendencias mensuales donde las procedencias de Tasmania presentan mayoritariamente un estado fenológico más avanzado, entre los meses de mayo 1993 hasta la primera quincena de enero 1994, situación que se minimiza desde la segunda quincena de febrero hasta mayo de 1994 (Cuadro N° 2).

Diferencias significativas se observaron sólo en los meses de mayo a julio ($p < 0,05$) tanto en el año 1993 como en 1994, destacando la precocidad de las procedencias de Tasmania en 1993, como se observa en el Cuadro N° 2, ya que se encontraban en promedio entre la fase 4 (floración) y 5 (Caída de los estambres); en cambio, las procedencias de Victoria se encontraban entre las fases 2 (Yemas hinchadas) y 3 (Apertura del opérculo). En el año 1994 (abril y mayo) fueron las procedencias de Victoria las más precoces.

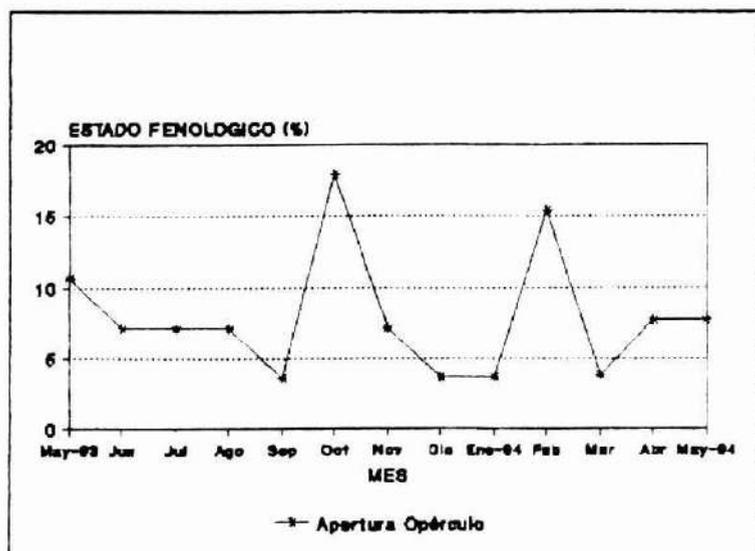


Figura N° 4 a. APERTURA DEL OPERÁCULO EN *E. globulus*

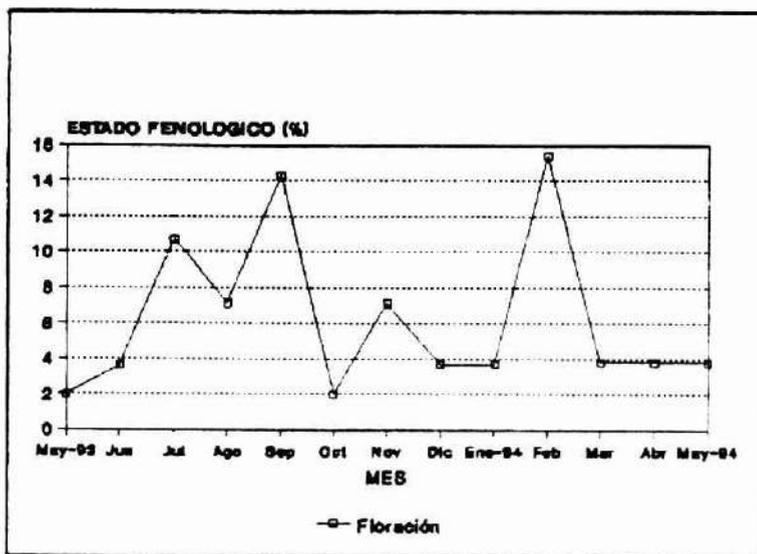


Figura Nº 4 b. FLORACIÓN EN *E. globulus*

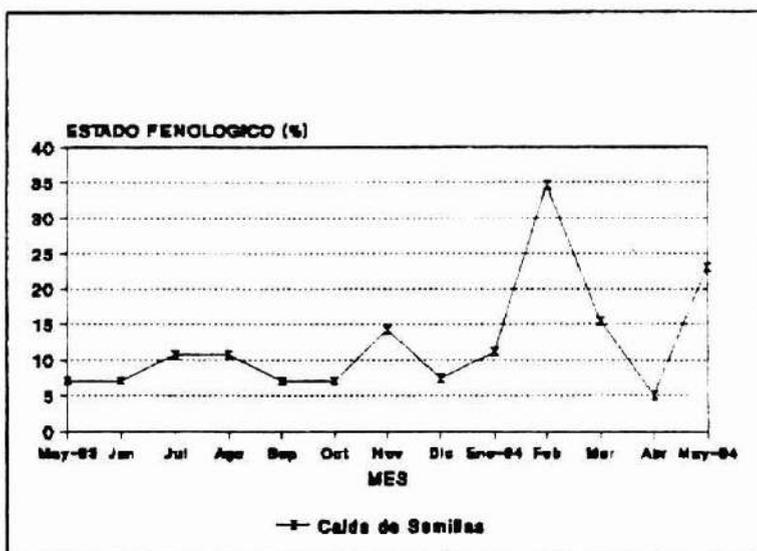


Figura Nº 4 c. CAIDA DE SEMILLA EN *E. globulus*



Cuadro N° 2.
PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS FENOLOGICOS DE PROCEDENCIAS DE
Eucalyptus globulus, AÑO 1993

| PROCED | MESES | | | | | | | |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| | MAYO $\mu \pm DE$ | JUNIO $\mu \pm DE$ | JULIO $\mu \pm DE$ | AGOSTO $\mu \pm DE$ | SEPT. $\mu \pm DE$ | OCTUB. $\mu \pm DE$ | NOV. $\mu \pm DE$ | DIC $\mu \pm DE$ |
| VICTORIA | 2,1 2,1 ^b (0 - 6) | 2,6 2,0 ^b (1 - 7) | 3,2 2,4 ^b (1 - 9) | 3,6 2,8 (1 - 9) | 3,9 2,8 (1 - 9) | 4,4 2,7 (1 - 9) | 5,7 2,5 (2 - 9) | 5,1 2,5 (1 - 9) |
| TASMANIA | 4,7 2,5 ^a (1 - 8) | 4,8 2,4 ^a (1 - 8) | 5,2 2,5 ^a (2 - 9) | 5,4 2,5 (2 - 9) | 5,5 2,4 (2 - 9) | 5,9 2,2 (2 - 9) | 6,6 1,3 (4 - 9) | 6,6 2,2 (0 - 9) |
| PROMEDIO | 3,2 2,6 | 3,6 2,4 | 4,0 2,6 | 4,4 2,8 | 4,6 2,7 | 5,0 2,6 | 6,1 2,1 | 5,8 2,4 |

a,b: letras diferentes en una misma columna determinan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Cuadro N° 3.
PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS FENOLOGICOS DE PROCEDENCIAS DE
Eucalyptus globulus, AÑO 1994

| PROCEDENCIAS | MESES | | | | |
|--------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ENERO $\mu \pm DE$ | FEBRERO $\mu \pm DE$ | MARZO $\mu \pm DE$ | ABRIL $\mu \pm DE$ | MAYO $\mu \pm DE$ |
| VICTORIA | 5,1 2,9 (1 - 9) | 5,8 2,5 (3 - 9) | 5,4 2,5 (1 - 9) | 4,4 2,8 ^a (3 - 9) | 6,1 2,6 ^a (0 - 9) |
| TASMANIA | 6,3 2,2 (0 - 9) | 5,8 3,3 (0 - 9) | 6,3 3,4 (0 - 9) | 2,2 2,1 ^b (0 - 7) | 2,7 2,6 ^b (0 - 7) |
| PROMEDIOS | 5,6 2,7 | 5,8 2,8 | 5,8 2,9 | 3,5 2,7 | 4,6 3,0 |

a,b: letras diferentes en una misma columna determinan diferencias significativas ($p < 0,05$).

E. nitens

Esta especie respecto al ciclo vegetativo, también se mantiene activa durante todo el año, al igual que *E. globulus*.

El estado fenológico de *E. nitens* se muestra en el Figura N° 5. Con respecto al ciclo reproductivo se observó que la formación de yemas se produce principalmente en verano; la floración se arrastra desde el verano hasta la primavera siguiente (Figura N° 5b), siendo levemente más tardía que en *E. globulus*. La liberación de semillas ocurre prácticamente durante todo el año, salvo en periodos muy fríos, con un máximo entre los meses de noviembre a febrero, debido a las condiciones térmicas (Figura N° 5c).

La especie demuestra ser muy sensible a los cambios climáticos, lo que determina en gran parte su comportamiento fenológico.

Se observó que la especie conserva por largos períodos los frutos tanto en estado maduro como inmaduro, los que repentinamente pasan al estado siguiente.

El comportamiento fenológico en esta especie demostró ser menos variable que en *E. globulus*, debido por una parte al menor número de observaciones, y por otra a una condición de mayor estabilidad de la especie (Cuadro N° 3).

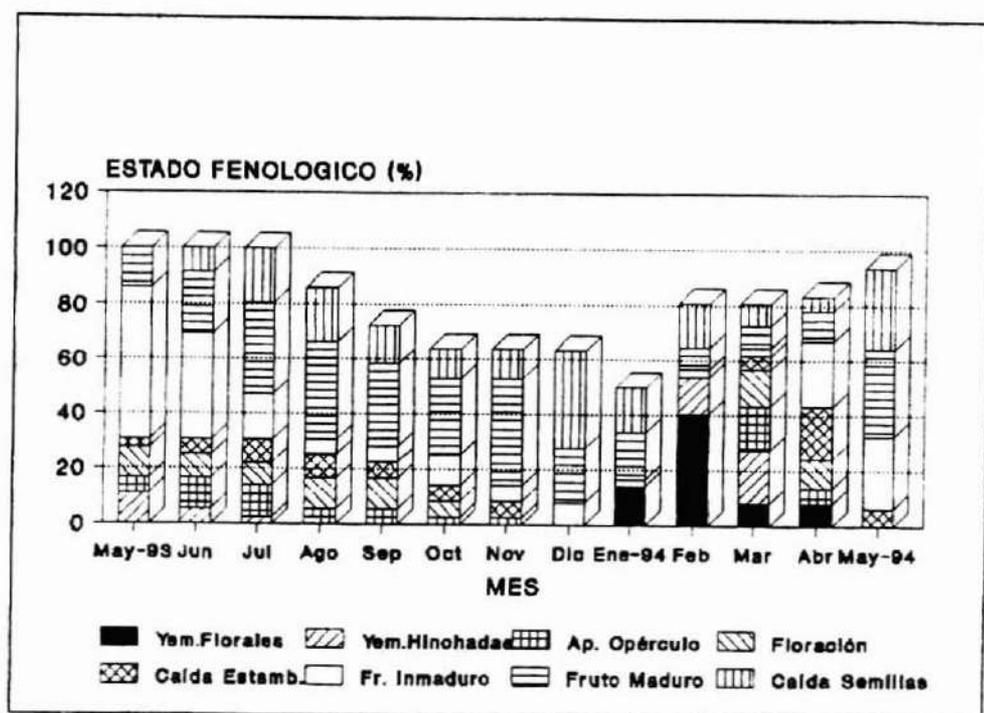


Figura N° 5. COMPORTAMIENTO FENOLOGICO *E. nitens*

El comportamiento mensual entre las procedencias de *E. nitens* (Nueva Gales del Sur - NSW y Victoria) durante el año fue semejante, no encontrándose diferencias significativas entre ambas procedencias ($p > 0.05$). Las procedencias originarias de NSW durante los meses de mayo a diciembre de 1993 mostraron un estado fenológico más precoz que las originarias de Victoria (Cuadro N° 3), situación que se invierte en el verano 1994 hasta mayo del mismo año, de modo similar a lo descrito para *E. globulus*.

Sólo en la primera quincena del mes de enero de 1994 se encontraron diferencias significativas entre las procedencias ($p < 0.05$) ya que las de NSW estaban iniciando la fase 3 (apertura del opérculo) mientras que las de Victoria se encontraban en la fase 6 (Fruto Inmaduro). Además, la procedencia de NSW fue bastante uniforme entre septiembre de 1993 a Enero de 1994, ya que todos se encontraron en la fase de fruto maduro (7), mientras que las procedencias de Victoria, en el mismo periodo, fueron mucho más variables.

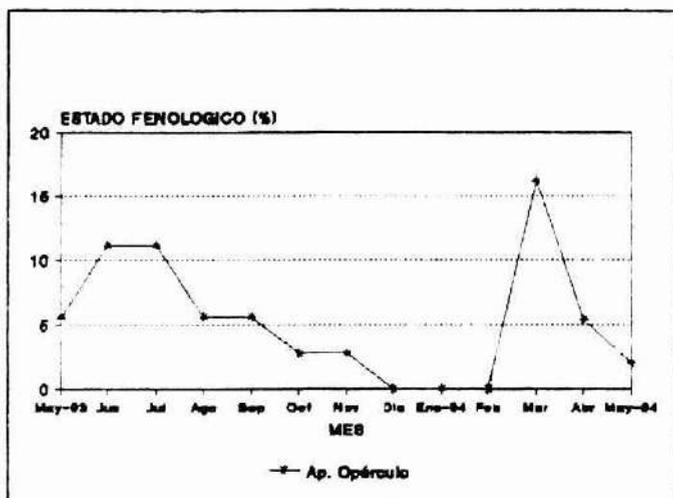


Figura Nº 5 a. APERTURA DEL OPERCULO EN *E. nitens*

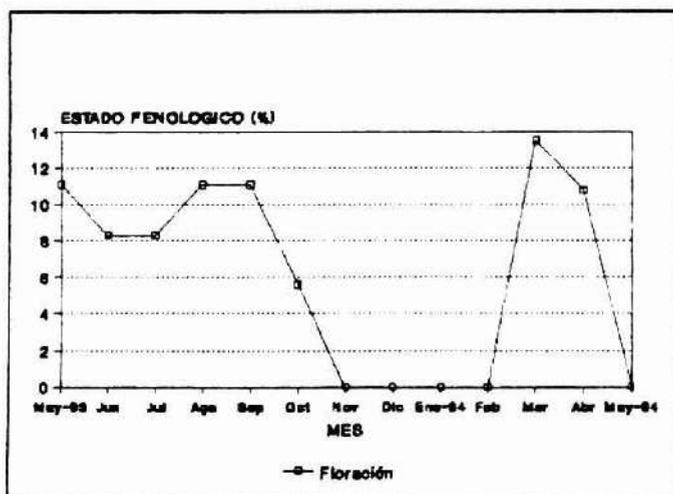


Figura Nº 5 b. FLORACIÓN EN *E. nitens*

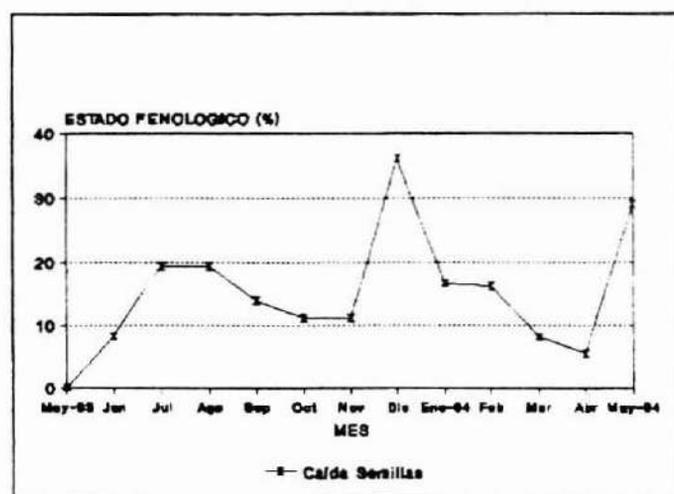


Figura N° 5 c. CAIDA DE SEMILLAS *E. nitens*

Cuadro N° 4.
PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS FENOLOGICOS
POR PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus nitens*., AÑO 1993

| PROCED. | MESES | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| | MAYO $\mu \pm DE$ | JUNIO $\mu \pm DE$ | JULIO $\mu \pm DE$ | AGOSTO $\mu \pm DE$ | SEPT. $\mu \pm DE$ | OCTUB. $\mu \pm DE$ | NOV $\mu \pm DE$ | DIC $\mu \pm DE$ |
| NSW (MARGEN) | 6,5 0,7 (6 - 7) | 6,8 1,2 (6 - 8) | 7,3 1,1 (6 - 8) | 8,0 1,4 (7 - 9) | 7,0 (7 - 7) | 7,0 (7 - 7) | 7,0 (7 - 7) | 7,0 (7 - 7) |
| VICTORIA (MARGEN) | 4,3 1,9 (2 - 7) | 4,4 1,9 (2 - 7) | 4,7 2,1 (2 - 7) | 5,0 1,8 (3 - 7) | 5,1 1,8 (3 - 7) | 5,4 1,7 (3 - 7) | 6,1 1,6 (3 - 8) | 6,6 1,0 (5 - 8) |
| PROMEDIOS | 4,7 1,9 | 4,9 2,0 | 5,2 2,1 | 5,6 2,1 | 5,3 1,8 | 5,6 1,7 | 6,2 1,5 | 6,7 1,0 |

NSW: New South Wales.

a,b: letras diferentes en una misma columna determinan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Cuadro N° 5.
 PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS FENOLÓGICOS
 POR PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus nitens*, AÑO 1994

| PROCEDENCIA | MESES | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | ENERO $\mu \pm DE$ | FEBRERO $\mu \pm DE$ | MARZO $\mu \pm DE$ | ABRIL $\mu \pm DE$ | MAYO $\mu \pm DE$ |
| NSW MARGEN | 7,0 (7 - 7) | 4,5 4,2 (1 - 8) | 5,1 1,6 (4 - 7) | 4,0 2,1 (2 - 6) | 7,0 1,4 (6 - 8) |
| VICTORIA MARGEN | 6,7 1,1 (4 - 8) | 5,4 2,6 (1 - 8) | 5,9 1,6 (3 - 9) | 5,7 1,9 (1 - 8) | 7,3 0,9 (5 - 9) |
| PROMEDIO | 6,7 1,1 | 5,2 2,7 | 5,8 1,5 | 5,3 1,9 | 7,2 1,0 |

NSW: New South Wales.

a,b: letras diferentes en una misma columna determinan diferencias significativas ($p < 0,05$).

E. camaldulensis

El ciclo vegetativo de *E. camaldulensis* se mantiene activo durante todo el año, al igual que las especies anteriores.

Con respecto al ciclo reproductivo, se puede observar una gran variación en las fenofases, existiendo individuos en diferentes estados (fenofases 1 a 9) durante gran parte del año (Cuadro N° 4). Sin embargo, la formación de yemas florales se verifica en verano y primavera, lo que conlleva a que el periodo de floración se extienda a gran parte del año, desde agosto a enero y entre febrero y abril del año siguiente, pero con un máximo a principios del verano (Cuadro N° 4).

En este caso la liberación de las semillas se produce durante todo el año, con un máximo en el mes de agosto (Figura N° 6c).

El comportamiento fenológico a través del año en *E. camaldulensis* fue muy parecido al de *E. globulus*, difiriendo sólo en que los estados más avanzados son más marcados y permanentes, como se puede observar a partir del mes de marzo de 1994, hasta la caída de la semilla en el mes de mayo del mismo año (Figura N° 6c).

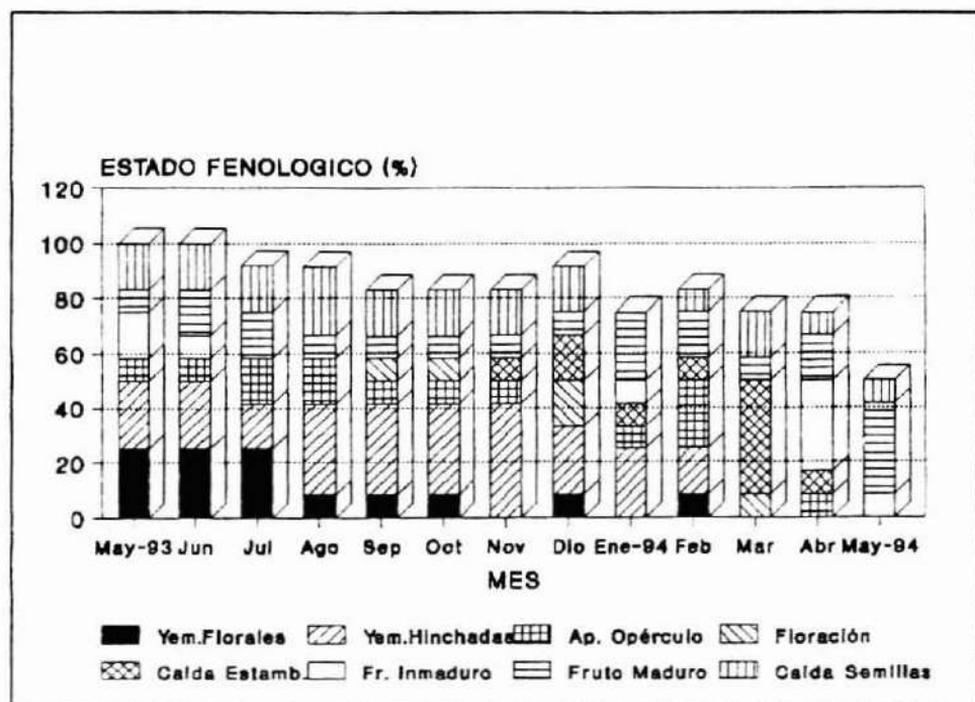


Figura Nº 6. COMPORTAMIENTO FENOLOGICO *E. camaldulensis*

Cuadro Nº 6.

**PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS
FENOLOGICOS DE *Eucalyptus camaldulensis*. AÑO 1993**

| | MESES | | | | | | | |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPT. | OCTUB | NOV. | DIC |
| PROMEDIO | $\mu \pm DE$ 3,9 2,8 | $\mu \pm DE$ 4,1 3,0 | $\mu \pm DE$ 4,3 3,2 | $\mu \pm DE$ 4,7 3,1 | $\mu \pm DE$ 4,8 3,2 | $\mu \pm DE$ 4,8 3,1 | $\mu \pm DE$ 4,9 3,1 | $\mu \pm DE$ 4,9 2,6 |
| (MARGEN) | (1 - 8) | (1 - 9) | (1 - 9) | (1 - 9) | (1 - 9) | (1 - 9) | (2 - 9) | (2 - 9) |

Cuadro N° 7.
 PROMEDIOS MENSUALES DE LOS ESTADOS
 FENOLÓGICOS DE *Eucalyptus camaldulensis*. AÑO 1994

| | MESES | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO |
| | $\mu \pm DE$ |
| PROMEDIO (MARGEN) | 5,3 2,7 (2 - 9) | 5,3 2,7 (2 - 9) | 6,4 2,0 (4 - 9) | 7,1 1,7 (4 - 9) | 7,8 1,1 (6 - 9) |

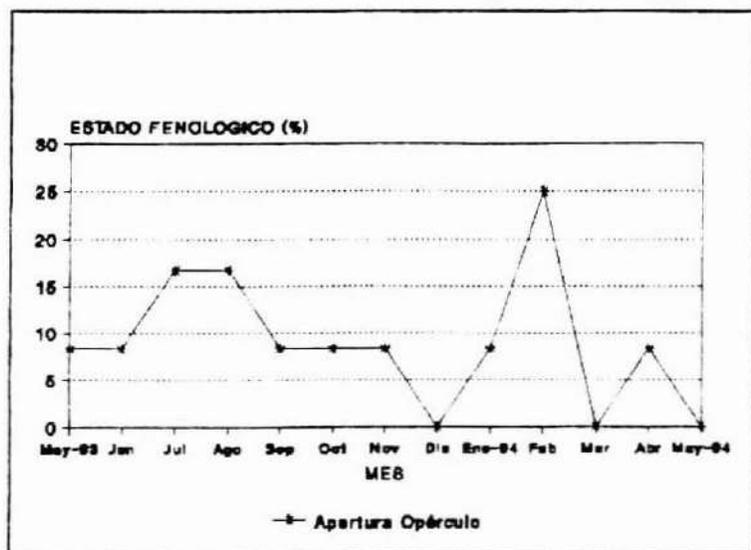


Figura N° 6 a. APERTURA DEL OPERCULO EN *E. camaldulensis*.

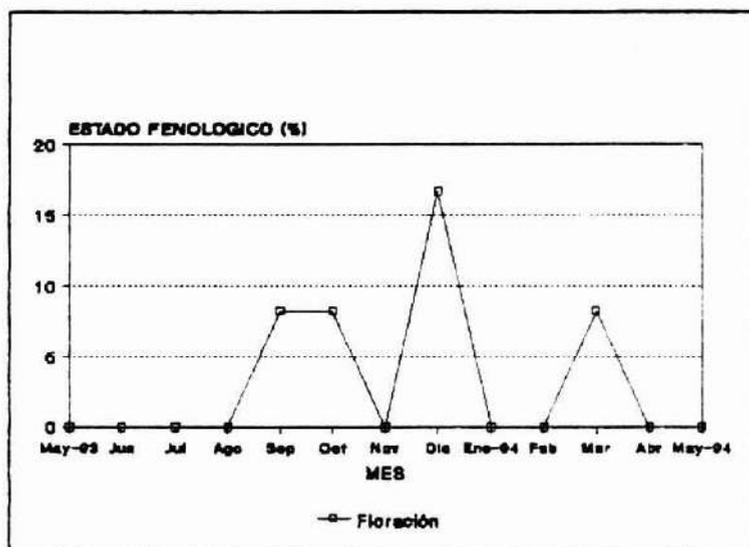


Figura Nº 6 b. FLORACIÓN EN *E. camaldulensis*.

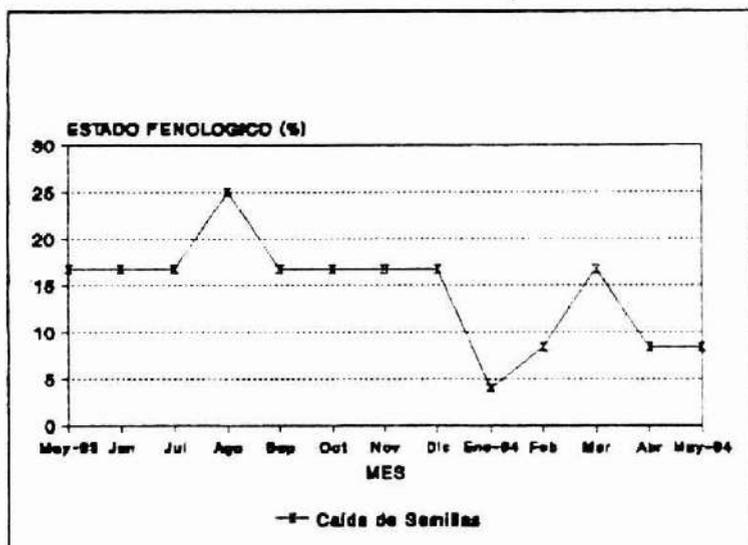


Figura Nº 6 c. CAIDA DE SEMILLAS EN *E. camaldulensis*.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Si bien el estudio presentado es de carácter preliminar y representa el comportamiento de las especies en estudio en una localidad de la zona central del país distinta de las áreas de mayor potencialidad de crecimiento de las mismas, permitió establecer parámetros de comparación y tener un conocimiento base, el que está siendo enriquecido con las mediciones en curso en ensayos en diferentes regiones.

Resalta el hecho de que las tres especies presentan un crecimiento vegetativo sostenido durante todo el año, sin haberse observado un receso propiamente tal.

Asimismo, y como es sabido, el comportamiento fenológico de cada especie es variable de año en año, lo que refuerza la necesidad de emprender estudios de al menos tres años en las respectivas áreas de crecimiento, a fin de entregar información confiable y útil para su silvicultura y manejo.

Notoria es la estrecha relación entre condiciones climáticas dadas y respuestas fenológicas específicas, demostrando ser altamente dependientes estas últimas de las primeras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ashton, D.H. 1975a. The Seasonal Growth of *E. regnans*. Aust. J. of Bot. 23, 239-252.
- Ashton, D.H. 1975b. Studies on Flowering Behaviour in *E. regnans*. Aust. J. of Bot., 23: 399-411.
- Boland, D.J.; Brooker, M.L.H.; Turnbull, J.W. 1980. *Eucalyptus* seed. CSIRO, Australia, 191 p.
- Brooker, M.L.H. and Kleinig, D.A. Field Guide to *Eucalyptus* South-western and Southern Australia. Volumen 2: 196.
- Gore, P.L.; Potts, B.M.; Volker, P.W.; Megalos, J. 1990. Unilateral Cross-incompatibility in *Eucalyptus*: the Case of Hybridisation between *E. globulus* and *E. nitens*. Aust. J. of Bot., 38: 383-394.
- Griffin, A.R. 1980. Floral Phenology of a Stand of Mountain Ash (*E. regnans*) in Gippsland, Victoria. Aust. J. of Bot. 28: 393-404.
- Hodgson, L.H. 1976a. Some Aspects of Flowering and Reproductive Behaviour in *E. grandis* at Keet Forest Research Station. 1. Flowering, Controlled Pollination Methods, Pollination and Receptivity. S. African Forestry Journal N 97.
- Hodgson, L.H. 1976b. Some Aspects of Flowering and Reproductive Behaviour in *E. grandis* at Keet Forest Research Station. 3. Yield, Breeding Systems, Barriers, General Conclusions. S. African Forestry Journal N 99.

Oliveira, G.; Werner, C.; Correia, O. 1993. Influencia de la Posición de la Copa sobre la Fenología y las Relaciones Hídricas del Alcornoque (*Quercus suber*). Congreso Forestal Español, Lourizan 1993. Ponencias y Comunicaciones, Tomo I: 277 - 282.

Sedgley, M. y Griffin, A.R. 1989. Sexual Reproduction of Tree Crops. Academic Press, 378 p.

Tibbitts, W. 1989. Controlled Pollination Studies with Shining Gum (*E. nitens*). Forestry, Vol. 62 N 2.

Urrutia, T.R.E. 1992. Caracterización y Comportamiento en Vivero de Tres Procedencias de Semillas de *E. globulus* Cosechadas en Chile. Tesis de grado, Universidad de Concepción, 120 p.

Valenziano, S. y Scaramuzzi, G. 1967. Osservazioni Preliminari sul Ritmo di Accrescimento in Diametro di *E.camaldulensis* y *E. viminalis* en Roma. Agric. For. Vol 9(3), 189-202.

Verkatesh, C.S. y Sharma, V.K. 1975. The Flowering Phenology of Some *Eucalyptus* at New Forests; It's Significance and Implication in Hybridization. J. Indian Academy of Wood Sc. Vol. 2, 119-121.

GLOSARIO

Autoincompatibilidad (autoesterilidad): Se refiere a la inhabilidad de plantas fértiles para reproducirse a partir de autocruzas; inhabilidad de plantas hermafroditas fértiles a producir cigotos después de autopolinización (existe tanto prezigótica como postzigótica).

Autogamia: Fenómeno que consiste en la polinización de una flor por medio de su propio polen; como es lógico, sólo las flores hermafroditas pueden ser autógamas. Se opone a alogamia.

Cleistogamia: Fenómeno referido a las plantas cleistógamas (que poseen flores cuya polinización se produce cuando aún están cerradas).

Dicogamia: Es un mecanismo de cruza abiertas que considera separación temporal de los sexos, donde los órganos masculinos y femeninos maduran en distintos periodos en la misma flor. Puede ser protógina cuando la parte femenina madura antes, o protandrea, cuando la parte masculina madura antes; cuando se presentan ambos casos se denomina heterodicogamia. Las flores de muchas especies muestran algún grado de dicogamia. Los eucaliptos presentan dehiscencia de las anteras en un período corto después de la anthesis.

Imbreeding: Cruzamiento intencional o accidental de individuos que están más cercanamente emparentados que sus progenitores.

Partenocarpia: Fenómeno por el cual se forman frutos sin previa fecundación; por consiguiente los rudimentos seminales no se transforman en semillas, o bien dan

semillas estériles. La partenocarpia puede ser autónoma o vegetativa si se realiza sin estímulo, o bien estimulativa o etiónoma cuando se requiere cierta excitación del estigma por medio del polen (que no llega a fecundar los rudimentos seminales), o por hongos que se desarrollan en aquél como parásitos, o por otros estímulos.

Partenogénesis: Desarrollo apomítico del óvulo, engendramiento de un individuo a partir de un óvulo no fecundado que puede ser haploide, diploide o poliploide.

DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DE VOLUMEN PARA EUCALIPTO

JUAN CARLOS PINILLA SUÁREZ y CARLOS KAHLER GONZÁLEZ

Ingenieros Forestales, División Ordenación Forestal e Inventarios. Instituto Forestal

RESUMEN

Dentro de las actividades del Proyecto "Manejo Silvícola de Especies del Género Eucalyptus" se desarrollaron funciones de volumen para eucalipto. Los datos para su construcción provinieron de rodales adultos de Eucalyptus globulus ubicados en la V, VI y X Región de Chile, obteniendo la información luego de derribar y medir los árboles. Se utilizó el ajuste de un modelo matemático según área geográfica y un modelo a nivel general. Al analizar los resultados se concluye que el modelo de Spurr desarrollado para cada localidad sería recomendable para ser empleado. Los modelos obtenidos son confiables en sus estimaciones, pero se debe considerar que su construcción se basa en información proveniente de rodales adultos de eucalipto. Para desarrollar modelos más eficientes se necesita aumentar la base de datos empleada en su construcción atendiendo las necesidades de manejo para eucalipto.

Palabras Clave: Eucalyptus, Volumen.

ABSTRACT

One of the activities in "Forestry Management of the Eucalyptus Species Project" was to develop volume functions. The data was taken from adults stands of Eucalyptus globulus located in the V, VI and X Regions of Chile. Trees were harvested in order to measure them. It was used a mathematical model according to the geographical area and a general one. After analyzing the results we concluded that the Spurr mathematical model developed for every zone is the most appropriate to evaluate the tree volumes. The models presents reliable estimate but it should be taken into account that the data comes from adult Eucalyptus globulus stands. The development of more efficient models will depend on a larger data set and the Eucalyptus management requirements.

Key words: Eucalyptus, Volume.

INTRODUCCIÓN

Para la cuantificación de los productos forestales que el bosque puede proporcionar se recurre, principalmente, a la determinación del volumen de los árboles o parte de él, siendo este parámetro una de las informaciones importantes en la descripción de las masas forestales. De igual modo, una de las formas más utilizadas para la evaluación de la productividad de un sitio es la determinación del volumen, ya que este valor permite apreciar la ganancia producida al combinar los efectos del diámetro y la altura.

Existen numerosas formas para la determinación del volumen de un árbol, siendo las más utilizadas aquellas que relacionan variables dasométricas con los distintos tipos de volumen presentes en un árbol. En la búsqueda de estas relaciones se han desarrollado modelos matemáticos que utilizan como variable dependiente el volumen, y como independientes, variables de estado del árbol fáciles de medir, como son el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total y/o alguna otra sencilla de cuantificar, así como también transformaciones de ellas.

En este sentido, un buen modelo o función de volumen debería cumplir con ser suficientemente flexible, compatible con funciones de ahusamiento o funciones de volumen de trozas, buen estimador de dicha variable, simple en su expresión analítica, de fácil aplicación y/o costo y ser lógico en su formulación. La literatura señala, además, que los modelos simples en empleo y construcción evidencian buenas propiedades estimadoras.

Dada la importancia de estas relaciones como herramienta del manejo forestal de las especies de eucalipto de interés para nuestro país, es que el proyecto **Manejo Silvícola de Especies del Género Eucalyptus** de la División Ordenación Forestal e Inventarios de INFOR, tiene entre sus objetivos el investigar y obtener antecedentes sobre el crecimiento y rendimiento de los rodales de eucalipto, desarrollando los modelos matemáticos más apropiados para ello. Dada la superficie actualmente cubierta con **Eucalyptus globulus ssp globulus**, es que esta investigación está orientada principalmente a esta especie.

Un aspecto relevante en este sentido es la obtención de la información desde los rodales de interés, su análisis y utilización para obtener las herramientas que apoyen las decisiones de manejo, optimizando las medidas silviculturales que permitan alcanzar los objetivos de producción.

Como antecedente se puede mencionar que en el país las empresas forestales que cuentan con eucalipto en su patrimonio han desarrollado algunos modelos de volumen. Sin embargo, la información sobre la utilización de estas funciones en especies del género **Eucalyptus** no está muy difundida o es muy limitada.

Debido a la falta de antecedentes, el proyecto ha reunido una base de datos que permite determinar funciones de volumen, utilizando la información disponible y métodos y técnicas estadísticas.

El presente trabajo describe lo realizado por el proyecto en el desarrollo de funciones de volumen para eucalipto en edades adultas, presentando un modelo basado en la información actualmente disponible.

DATOS

La información se obtuvo de la medición de árboles de tres rodales adultos de eucalipto generados a partir de monte alto, ubicados en la V, VI y X Región, pertenecientes a empresas o particulares.

Una característica especial de estos rodales es su edad adulta. Aunque no fue posible obtener la edad precisa de cada uno, como mínimo tenían 25 años al momento de su explotación. La ubicación y descripción de los rodales se presentan en el Cuadro N° 1.

En cada una de las áreas de estudio se utilizó la misma metodología para obtener la información. Esta consistió, en obtener la distribución diamétrica del rodal. Posteriormente se eligió un número de árboles representativos de toda la distribución diamétrica del rodal, valor variable en razón del número de árboles presentes en el rodal. Los árboles seleccionados fueron derribados y medidos en secciones.

Cuadro N° 1
DESCRIPCIÓN ÁREAS DE ESTUDIO

| VARIABLES | ÁREAS DE ESTUDIO | | |
|------------------------|--------------------|-----------|---------------|
| | Los Riscos | Tanumé | Peñuelas |
| Región | X | VI | V |
| Sector | Puerto Varas | Pichilemu | Lago Peñuelas |
| Propietario | Forestal Los Lagos | CONAF | CONAF |
| N° de árboles | 49 | 68 | 70 |
| N° de observaciones | 1166 | 2208 | 2453 |
| N° observaciones/árbol | 24 | 32 | 35 |

En cada árbol derribado se midió y registró una serie de variables, las que se detallan a continuación y en la Figura N° 1:

- Región.
- Empresa.
- Nombre del predio.

- d) Número del árbol.
- e) Diámetro a la altura del pecho (cm) con corteza.
- f) Diámetros cada 1 m, hasta los 5 cm de diámetro con corteza.
- g) Largos de las secciones medidas (generalmente 1 metro).
- h) Altura total (m).
- i) Altura de copa (m).
- j) Altura de tocón (cm).
- k) Diámetro comienzo de copa (cm).
- l) Diámetro de tocón (cm).
- m) Doble espesor de corteza (mm) en cada sección.

Posteriormente, toda la información fue traspasada a una base de datos para su utilización y manejo en este estudio. La información recolectada fue sometida a un proceso de depuración gráfica y analítica, eliminándose los datos ilógicos o con errores.

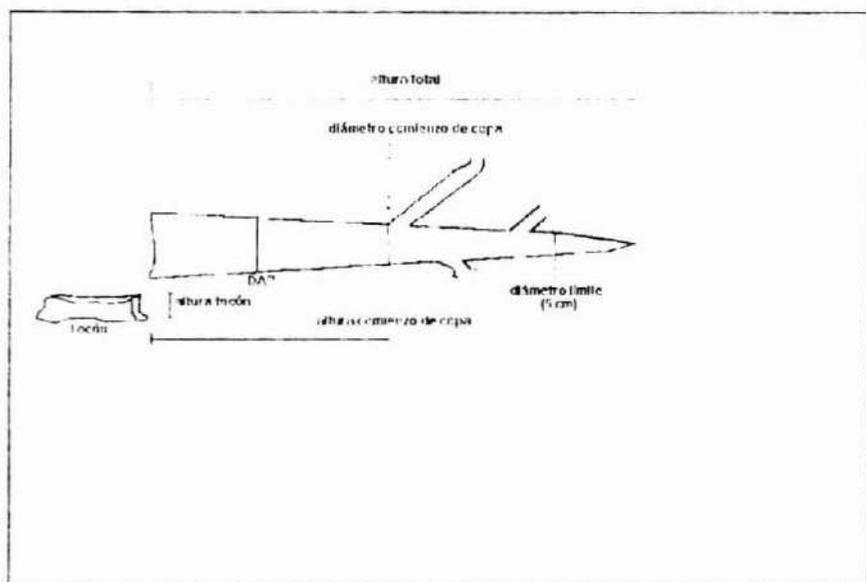


Figura Nº1. MEDICIONES REALIZADAS EN LOS ÁRBOLES DERRIBADOS

Una descripción de las frecuencias y márgenes de altura por clase diamétrica de los árboles de la muestra, se presenta en la Cuadro Nº2. En esta tabla se indican los diámetros superiores de la muestra, y también las alturas de los árboles.

Cuadro N°2.

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN CLASE DIAMÉTRICA Y RANGOS DE ALTURA.

| Clase de DAP (cm) | Número de árboles | DAP mínimo (cm) | DAP máximo (cm) | Altura mínima (m) | Altura máxima (m) |
|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| < 10 | 11 | 6,20 | 9,97 | 10,3 | 13,7 |
| 10 - 20 | 23 | 11,4 | 19,9 | 13,0 | 25,3 |
| 20 - 30 | 27 | 20,0 | 29,4 | 15,0 | 37,0 |
| 30 - 40 | 26 | 30,0 | 39,9 | 22,4 | 42,7 |
| 40 - 50 | 25 | 40,2 | 49,8 | 29,8 | 48,3 |
| 50 - 60 | 23 | 50,0 | 59,0 | 33,4 | 49,0 |
| 60 - 70 | 22 | 60,2 | 69,5 | 29,9 | 50,5 |
| 70 - 80 | 15 | 70,0 | 79,0 | 30,2 | 51,7 |
| 80 - 90 | 10 | 80,0 | 89,4 | 34,0 | 46,6 |
| Total | 182 | | | | |

MÉTODOS

Con la información depurada se procedió a realizar una serie de análisis para la estimación de las funciones de volumen, utilizando los datos en forma agrupada o desagregada según región o rodal.

Ajuste de una Función a Nivel de Rodal

En una primera etapa se ajustaron funciones de volumen a los datos obtenidos, separando la información según el rodal de origen. El ajuste se realizó utilizando el método de los mínimos cuadrados.

De acuerdo con la distribución que presentó el volumen en cada una de las áreas de estudio, y agrupados los datos en forma general, y dado los resultados que se han obtenido con su aplicación, se decidió ajustar el modelo desarrollado por Spurr (1952), cuya fórmula es:

$$V = a + b * DAP^2 * H$$

donde:

V = Volumen en m³ ssc. desde la altura de tocón hasta la altura de un diámetro límite de 5 cm con corteza.

DAP = DAP con corteza, en centímetros.

H = Altura total, en metros.

La aplicación de esta función, permite evaluar las propiedades del modelo al comparar los volúmenes reales medidos con los correspondientes estimados.

Evaluación de la Función

Como indicadores de la bondad de ajuste de la función de volumen se utilizaron: el error cuadrático medio porcentual (ECM(%)), como indicador de la exactitud de la función; sesgo probable en porcentaje (DIFA(%)), como indicador de la magnitud de los sesgos; el estimador de Durbin-Watson (correlación serial de los residuos del modelo), el coeficiente de correlación y el error estándar.

El Error Cuadrático Medio Porcentual (ECM%) y la Diferencia Agregada Porcentual (DIFA%) se definen matemáticamente por las siguientes expresiones:

$$ECM(\%) = \left(\sqrt{\frac{(\sum V_o - V_e)^2}{n}} \right) * \frac{100}{Y}$$

$$DIFA(\%) = \left(\frac{\sum V_o - \sum V_e}{\sum V_o} \right) * 100$$

donde:

V_o = Volumen observado.

V_e = Volumen estimado.

Y = Volumen observado promedio.

N = Número de árboles.

La cubicación de las trozas para la obtención del volumen observado se realizó mediante la fórmula de Smalian (Husch, 1982).

Ajuste de una Función General de Volumen

Un segundo tipo de estudio se realizó ajustando un modelo de volumen al total de la información experimental.

El ajuste se realizó utilizando el método de los mínimos cuadrados y por la combinación de variables empleadas en los modelos considerados, usando la técnica de regresión paso a paso

En la evaluación de los modelos de volumen se utilizaron también como indicadores de la bondad de ajuste, el error cuadrático medio porcentual (ECM(%)), como indicador de la exactitud de la función; sesgo probable en porcentaje (DIFA(%)), como indicador de la magnitud de los sesgos; el estimador de Durbin-Watson (correlación serial de los residuos del modelo), el coeficiente de correlación y el error estándar.

RESULTADOS

Utilizando técnicas estadísticas y observando como se dispersan gráficamente las estimaciones entregadas por las funciones de volumen ajustadas, en relación a los datos originales, fue posible establecer las tendencias de las funciones por utilizar y realizar las estimaciones de los distintos indicadores de la bondad de los ajustes.

Se usó en este proceso la información básica entregada por el muestreo, luego de su depuración, utilizando las variables originales y sus combinaciones.

Ajuste de la Función de Volumen a Nivel Local

La elección del modelo a ajustar tuvo por objetivo compatibilizar la necesidad de obtener un modelo lo más semejante a la situación real (los modelos que representan sistemas biológicos generalmente son complejos), y la simplicidad en las mediciones de las variables requeridas y los costos involucrados, ya que a mayor número de parámetros a estimar en terreno, mayor costo de la información base y su procesamiento.

La distribución del volumen observado en el área de Los Riscos, Tanumé y Peñuelas se presenta en las figuras N° 2, 3, y 4, respectivamente. Al analizar gráficamente la distribución de estos volúmenes en relación al DAP de los árboles, fue posible apreciar que éstos se agrupaban de acuerdo con una tendencia común.

Una vez realizados los ajustes según área de estudio, se obtuvieron los respectivos coeficientes de las funciones y sus indicadores de la bondad de ajuste, los cuales son presentados en el Cuadro N° 3.



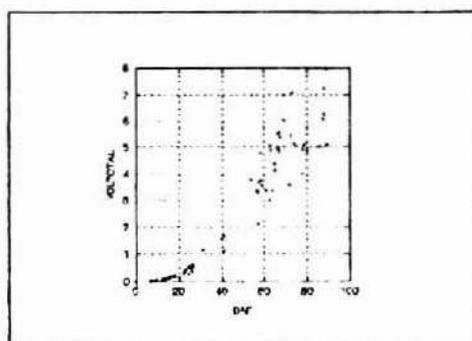


Figura Nº 2. RELACIÓN DAP/VOLUMEN ÁREA LOS RISCOS

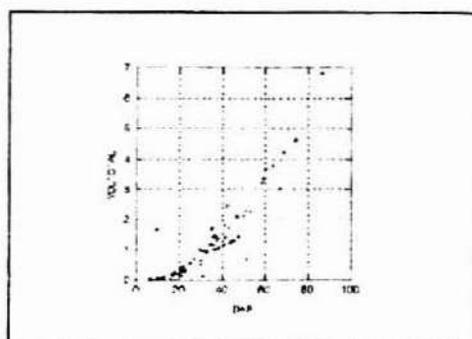


Figura Nº 3. RELACIÓN DAP/VOLUMEN ÁREA TANUMÉ

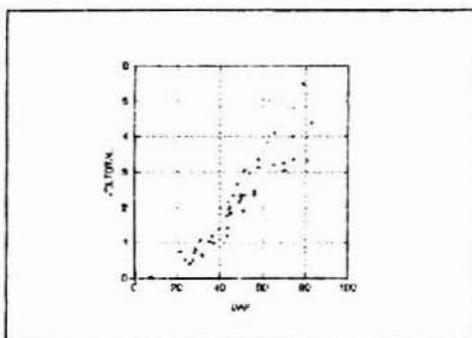


Figura Nº 4. RELACIÓN DAP/VOLUMEN ÁREA PEÑUELAS

Los valores obtenidos en los ajustes (Cuadro Nº 3), permiten concluir que la ecuación de Spurr parece representar razonablemente bien el comportamiento

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

volumétrico en las tres áreas en estudio. En efecto, el valor de los coeficientes de correlación señalan un alto ajuste entre los puntos de las tres muestras y los modelos obtenidos. Junto con ello el error estándar, el cual indica la dispersión de los puntos con respecto de los modelos obtenidos, no fue superior a 0,528 (área Tanumé), llegando a 0,048 en el área de Los Riscos. Por otra parte, los valores del estimador de Durbin-Watson, referidos a la correlación serial de los residuos del modelo, están en el margen que indica que no existe una autocorrelación, presentando el área de Tanumé el menor valor (1,5).

Cuadro N°3.

COEFICIENTES DE FUNCIONES E INDICADORES DEL AJUSTE

| COEFICIENTES | AREAS DE ESTUDIO | | |
|----------------------|------------------|-----------|------------|
| | Tanumé | Peñuelas | Los Riscos |
| a | 0,1976789 | 0,2490222 | 0,0195213 |
| b | 0,0000212 | 0,0000194 | 0,0000282 |
| r | 0,98 | 0,98 | 0,99 |
| E.S. | 0,528 | 0,266 | 0,048 |
| DW | 1,5 | 1,9 | 2,2 |
| ECM(m ³) | 0,5198 | 0,2622 | 0,0463 |
| ECM(%) | 17,33 | 12,47 | 8,14 |
| DIFA(%) | 0,2027 | -0,0034 | -0,0768 |
| N° de árboles | 65 | 65 | 42 |
| F _{cal} | 1.326,82* | 1.481,84* | 5.426,82* |

* = Significativo al nivel del 95%.

donde:

r = Coeficiente de correlación

ECM(%) = Error cuadrático medio en porcentaje.

DIFA(%) = Diferencia agregada en porcentaje.

DW = Estimador de Durbin-Watson.

F_{cal} = Valor F de la prueba de significancia

E.S. = Error estándar.

a, b = Coeficientes de la función.

El análisis de varianza señala, además, que las funciones de volumen obtenidas explican muy bien los datos, ya que en todas las muestras el valor del F_{cal} es mayor que el F_{tabla} , por lo que las variables independientes tienen influencia en la variable dependiente, haciendo estadísticamente significativos los modelos obtenidos.

Los valores obtenidos para el error cuadrático medio y la diferencia agregada, señalan que las propiedades estimadoras y la magnitud de los sesgos en los modelos obtenidos serían superiores en el área de Los Riscos y levemente inferiores en el área de Tanumé.

En las figuras N°5, 6 y 7 se presentan gráficamente los volúmenes reales versus los estimados, para el área de Los Riscos, Tanumé y Peñuelas, respectivamente.

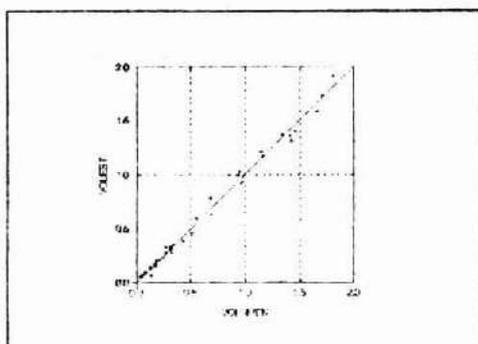


Figura N° 5. RELACIÓN VOLUMEN REAL Y VOLUMEN ESTIMADO ÁREA LOS RISCOS.

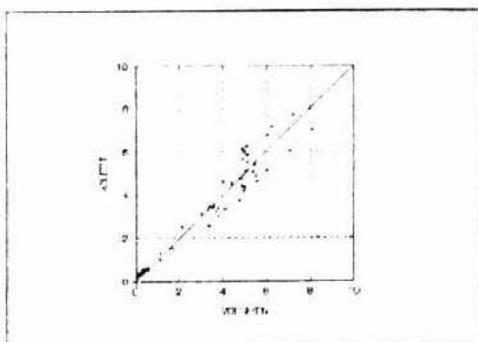


Figura N° 6. RELACIÓN VOLUMEN REAL Y VOLUMEN ESTIMADO ÁREA TANUMÉ.

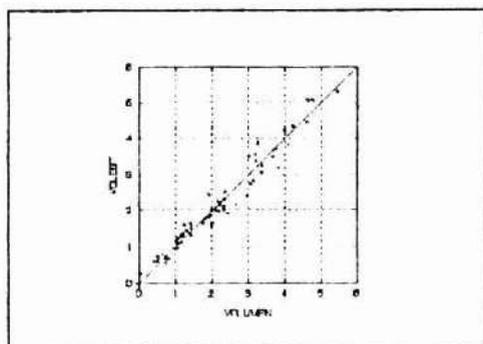


Figura N° 7. RELACIÓN VOLUMEN REAL Y VOLUMEN ESTIMADO ÁREA PEÑUELAS.

La bondad del ajuste de los modelos puede ser también apreciada a través de la regresión hecha entre los valores reales del volumen y los valores estimados. Los coeficientes de regresión obtenidos deben cumplir con ciertas hipótesis para asegurar que el ajuste es exacto y preciso, sin presentar sesgos.

La regresión se realiza ajustando un modelo lineal del tipo:

$$Ve = a + b * Vo$$

donde:

Ve = Volumen estimado.

Vo = Volumen observado.

a,b = Coeficientes de la regresión.

Si en las regresiones obtenidas el valor de la constante (a) es igual a cero, y el valor del término que acompaña a la variable independiente (b) es igual a 1, los ajustes son exactos y precisos. Esto significaría que existe una perfecta correspondencia entre el volumen estimado y el volumen real.

Para obtener la significancia estadística de los coeficientes de estas regresiones, los valores resultantes de las dójimas de hipótesis ($t_a=0$; $t_b=1$) se deben comparar con los tabulares de la distribución t de Student, fijando una región crítica para una probabilidad $\alpha=0,05$, con contraste bilateral. Si el valor calculado es menor que el valor crítico de t para los correspondientes grados de libertad, (n-2), se infiere que la estimación proporciona la exactitud requerida.



En el Cuadro N° 4 se presentan los valores de los coeficientes de regresión y su significación estadística para las tres áreas.

Cuadro N° 4.
BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS.

| AREA | COEFICIENTES DE REGRESIÓN | | | | n | Valor t_{tabla} | r |
|------------|---------------------------|--------------------|----------|--------------------|----|----------------------|------|
| | a | Valor t_{cal} | b | Valor t_{cal} | | | |
| TANUMÉ | 0,13609 | 1,3456 | 0,952599 | 1,8125 | 65 | 1,9983 | 0,98 |
| PENUELAS | 0,085723 | 1,3923 | 0,959256 | 1,6350 | 65 | 1,9983 | 0,98 |
| LOS RISCOS | 0,004146 | 0,3919 | 0,993472 | 0,4840 | 42 | 2,0211 | 0,99 |

donde:

t_{cal} = Valor de t calculado.

t_{tabla} = Valor t de tabla para un 97,5% de probabilidad y (n-2) grados de libertad.

n = Número de observaciones del volumen en el área.

r = Coeficiente de correlación.

Los resultados del Cuadro N° 4 señalan que sólo en el área de Tanumé podría existir una leve sobreestimación para el caso de los volúmenes inferiores, la que sin embargo no es estadísticamente significativa. En el resto de las situaciones el análisis estadístico permite asegurar que el valor de "b" es similar a 1, y el valor de "a" similar a 0. La ausencia de sesgos importantes permite apreciar las buenas propiedades estimadoras de los modelos ajustados.

Comparación Funciones de Regresión

Al observar los modelos ajustados es posible comprobar la similitud de sus valores y comportamiento. Por ello, se intentó determinar si era posible utilizar la ecuación de Spurr, también llamada de *variables combinadas*, para explicar la totalidad de los volúmenes, considerando que la información procede de diferentes rodales y regiones.

En este estudio se utilizó para la comparación de los modelos de regresión el análisis de la covarianza, comparando las pendientes y términos independientes entre las funciones. El objetivo de este procedimiento es determinar si es posible combinar la información para obtener un modelo de regresión común para el conjunto de los datos.

Luego de los cálculos básicos para los análisis de varianza se realizó la comparación de las regresiones entre cada una de las áreas de estudio, obteniendo los siguientes resultados:

Análisis área Tanumé y Los Riscos:

| Causa Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrado Medio | F |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Regresión Combinada | 531,99433 | 1 | 531,99433 | 3.579.205,49** |
| Entre Pendientes | 0,7240754 | 1 | 0,7240754 | 4.871,508** |
| Entre Términos Ind. | 17,646838 | 1 | 17,646838 | 118.726,2** |
| Residual | 0,0153094 | 103 | 0,000148 | |
| Total | 550,38056 | 106 | | |

** señala altamente significativo al nivel del 0,1%.

Análisis Área Peñuelas y Los Riscos:

| Causa Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrado Medio | F |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|
| Regresión Combinada | 176,20452 | 1 | 176,20452 | 1890426,83** |
| Entre Pendientes | 1,1214513 | 1 | 1,1214513 | 12031,597** |
| Entre Términos Ind. | 4,5586528 | 1 | 4,5586528 | 48907,9376** |
| Residual | 0,0096005 | 103 | 0,000009 | |
| Total | 181,89422 | 106 | | |

** señala altamente significativo al nivel del 0,1%.

Análisis área Peñuelas y Tanumé:

| Causa Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Cuadrado Medio | F |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|
| Regresión Combinada | 499,68422 | 1 | 499,68422 | 99.621,949** |
| Entre Pendientes | 0,710439 | 1 | 0,710439 | 141,640084** |
| Entre Términos Ind. | 22,025792 | 1 | 22,025792 | 4.391,278** |
| Residual | 0,6319914 | 126 | 0,0050158 | |
| Total | 523,05244 | 129 | | |

** señala altamente significativo al nivel del 0,1%.

En todos los análisis los resultados demuestran que la regresión es altamente significativa. Igualmente significativa es la diferencia de pendientes entre las regresiones separadas, lo que implica que esta no es debida a los efectos aleatorios en el muestreo de los datos. En el caso de los términos independientes, en todos los análisis estos difieren significativamente, lo que indica que estadísticamente las regresiones son distintas.

Dado que existen diferencias entre los términos independientes, y que las regresiones presentan distintas pendientes, se llega a la conclusión que los datos de las tres áreas no pueden ser agrupados bajo un sólo modelo de regresión, en este caso el de

variables combinadas, que tenga por objetivo la estimación de los volúmenes, sin una consecuente pérdida de exactitud.

Modelo General de Volumen o Datos Combinados

Aún cuando el análisis anterior concluyó que la función de Spurr no podía ser aplicable a toda la información en conjunto, sin una significativa pérdida de precisión, se realizó un ajuste utilizando otros modelos de volumen para todos los datos, con el objetivo de encontrar alguna otra función que sí sirviese para la estimación del volumen independiente del área de aplicación. Para ello se agrupó la información como si proviniesen de un sólo rodal, a la cual se les realizó el respectivo ajuste.

En la búsqueda de la mejor función de volumen se probaron diferentes modelos informados por la literatura, y algunos probados en estudios desarrollados anteriormente por INFOR, siendo las siguientes 5 funciones las que presentaron un mejor resultado:

$$A) \ln V = a - b \cdot \ln DAP + c \cdot \ln H + d \cdot (DAP) + e \cdot H$$

$$B) V = DAP^2 \cdot (a - b \cdot H) \quad (\text{Ogawa})$$

$$C) V = a - b \cdot \ln DAP + c \cdot \ln H + d \cdot DAP^2 - e \cdot (1/H) + f \cdot (DAP^2 \cdot H)$$

$$D) \ln V = a \cdot DAP^2 + b \cdot (1/DAP) - c \cdot DAP^2 \cdot H + d \cdot H - e \cdot (1/H)$$

$$E) V = a \cdot (DAP)^b \quad (\text{Meyer})$$

donde:

V = Volumen (m^3 ssc).

DAP = Diámetro a la altura del pecho en cm.

H = Altura total del árbol en metros.

a, b, c, d, e, f = Coeficientes de las funciones.

En la figura N° 8 se presenta la distribución al agrupar todos los datos, mientras que en el Cuadro N° 5 se exponen los respectivos valores de los indicadores de bondad de ajuste de los modelos probados.

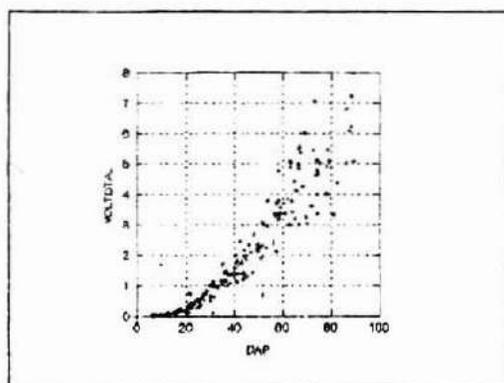


Figura N° 8. RELACIÓN DAP/VOLUMEN TOTAL

Cuadro N° 5.
INDICADORES DE AJUSTE DE LOS MODELOS

| INDICADOR | MODELOS | | | | |
|-----------|---------|-----------|---------|---------|-----------|
| | A | B | C | D | E |
| r | 0,97 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| r^2 | 0,94 | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,93 |
| ECM (%) | 17,8 | 21,6 | 27,4 | 21,3 | 37,2 |
| DIFA (%) | -2,495 | 6,019 | 0,697 | 1,231 | -2,495 |
| D-W | 2,206 | 1,539 | 1,647 | 2,286 | 1,919 |
| F_{cal} | 747,17* | 3.465,35* | 809,88* | 612,46* | 2.232,27* |
| E.S. | 0,377 | 0,450 | 0,398 | 0,373 | 0,431 |

* = Significativo al nivel del 95%.

donde:

r^2 = Coeficiente de determinación.

r = Coeficiente de correlación

ECM(%) = Error cuadrático medio en porcentaje.

DIFA(%) = Diferencia agregada en porcentaje.

D-W = Estimador de Durbin-Watson.

F_{cal} = Valor F de la prueba de significancia

E.S. = Error estándar.

El análisis de cada uno de los estimadores de la bondad de ajuste permite determinar cual de estos modelos presenta la mejor relación con los datos originales. De igual modo, el análisis gráfico del ajuste entre los valores observados y los valores estimados nos entrega otro elemento para la determinación de la precisión del modelo. En las figuras N°6, 7, 8, 9, y 10 se presentan los modelos con sus ajustes para los modelos A, B, C, D, y E, respectivamente.

En primer lugar, el coeficiente de correlación indica la relación entre los puntos de la muestra y el modelo obtenido. Asociado a este valor está el coeficiente de determinación, el que indica en que porcentaje la variación muestral de la variable dependiente puede ser atribuida a variaciones en la(s) variable(s) independiente(s).

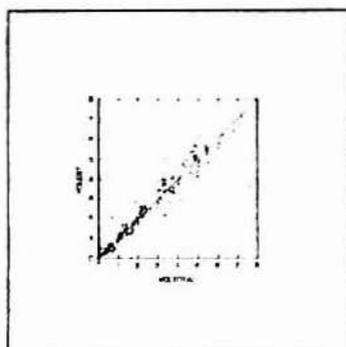


Figura N° 9. RELACIÓN VOLUMEN OBSERVADO Y VOLUMEN ESTIMADO MODELO A.

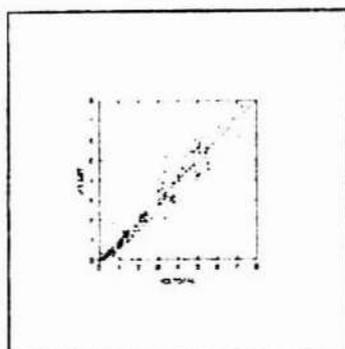


Figura N° 10. RELACIÓN VOLUMEN OBSERVADO Y VOLUMEN ESTIMADO MODELO B.

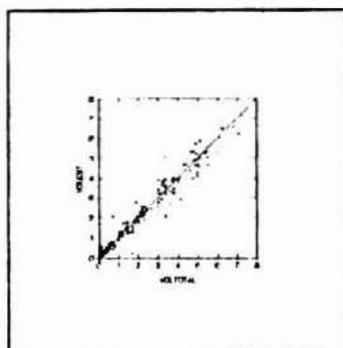


Figura N° 11. RELACIÓN VOLUMEN OBSERVADO Y VOLUMEN ESTIMADO MODELO C.

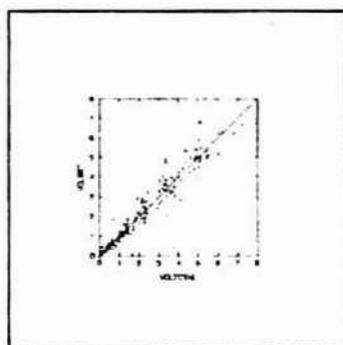


Figura N° 12. RELACIÓN VOLUMEN OBSERVADO Y VOLUMEN ESTIMADO MODELO D.

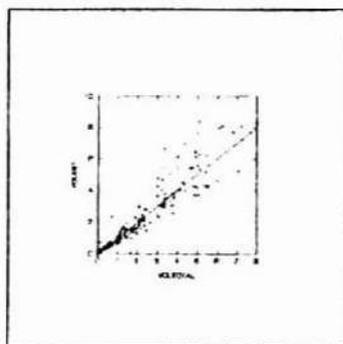


Figura N° 13. RELACIÓN VOLUMEN OBSERVADO Y VOLUMEN ESTIMADO MODELO E.

Tal como se aprecia en el Cuadro N°5, en los 5 modelos seleccionados el valor del coeficiente de correlación fue alto. (0.96 a 0.99), mientras que el coeficiente de

determinación varió entre 0,93 y 0,98. Esto señala que todos los modelos presentaron una alta relación entre los valores reales y los estimados. Sin embargo, este indicador por sí sólo no basta para concluir sobre la bondad del modelo, pudiendo existir un coeficiente alto pero un mal ajuste.

Este coeficiente de correlación está relacionado, además, con el error estándar de la estimación, el cual mide la dispersión de los puntos con respecto del modelo obtenido, y de acuerdo a los resultados del estudio, este no fue superior a 0,450 (modelo B).

El analizar la correlación serial (autocorrelación) de los residuos del modelo, valor de Durbin-Watson, tiene por objetivo asegurar que los errores a nivel muestral (residuos) no tengan ningún grado de dependencia entre sí para distintos X. Cuando este estimador está entre 1,6 y 2 no existe autocorrelación. En este estudio los valores de este estimador están cercanos al margen donde no existe autocorrelación, con la excepción del modelo B (1,539).

El análisis de varianza realizado señala, además, que los modelos de volumen propuestos explican muy bien los datos, ya que en todos los casos el valor del F_{cal} es mayor que el F_{tabla} , por lo que las variables independientes tienen influencia en la variable dependiente, haciendo estadísticamente significativos los modelos obtenidos.

Sin embargo, si se asume que el ECM y la DIFA coinciden con las propiedades estimadoras del volumen total, y considerando además que en las estimaciones agregadas la magnitud de los sesgos es un factor importante, los modelos seleccionados no presentarían un ajuste adecuado ni similar entre ellos.

Aún cuando los valores del coeficiente de correlación son altos, y existe una aceptable correlación serial de los residuos, los valores del ECM y DIFA nos señala que en general los modelos ajustados no presentan adecuadas capacidades estimativas, ratificando que para las tres áreas no es aconsejable el uso de un sólo modelo de volumen.

Al observar el conjunto de valores de cada uno de los estimadores utilizados, se puede considerar que los modelos B y D presentan valores y comportamientos similares, mientras que el modelo A tiene los mejores valores de los diferentes indicadores de la bondad del ajuste.

El análisis de la relación entre los distintos valores del Cuadro N°5, permite concluir que, con la salvedad del modelo A, los modelos no serían eficientes en la estimación del volumen. El modelo A podría ser utilizado, pero dada su estructura logarítmica presenta una subestimación constante del volumen.

Esta falta de estimación puede deberse a las diferencias de crecimiento encontradas en las tres áreas de estudio, con la presencia de árboles que por sus características no permiten ser asociados con el resto de los individuos a través de un solo modelo

predictor. Estas situaciones pueden ser mejor analizadas mediante el uso de modelos individuales, obteniendo una mayor precisión en cada área de estudio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La determinación del volumen de los árboles o parte de él, es una de las informaciones importantes en la descripción de las masas forestales, en donde este valor permite apreciar la ganancia volumétrica producida al combinar los efectos del diámetro y la altura.

El desarrollo de modelos matemáticos que utilizan como variable dependiente el volumen, y como independientes variables de estado del árbol, como lo son el DAP y la altura total y/o alguna otra variable sencilla de cuantificar, como así también diversas transformaciones de ellas, han permitido una mayor facilidad en la estimación de este parámetro.

En el marco de este estudio si bien existe una alta variabilidad en la información original (3 áreas geográficas y diferentes edades), las funciones obtenidas permiten contar con modelos aceptables para estimaciones volumétricas con un alto grado de confiabilidad.

Los valores obtenidos en los ajustes permiten concluir que la ecuación de Spurr (1952) parece representar razonablemente bien el comportamiento volumétrico en las tres áreas en estudio.

La aplicación de esta función sobre los datos del estudio, comparando los volúmenes reales medidos con los correspondientes estimados, permitió establecer las propiedades estimadoras aceptables de los modelos para *E. globulus*.

La bondad del ajuste de los modelos puede ser también apreciada a través de la regresión hecha entre los valores reales del volumen y los valores estimados. En las regresiones obtenidas los resultados señalan que sólo en el área de Tanumé podría existir una leve sobreestimación para el caso de los volúmenes inferiores. En el resto de las situaciones el valor de "b" es similar a 1, y el valor de "a" similar a 0. La ausencia de sesgos importantes confirma las buenas propiedades estimadoras de los modelos ajustados.

Al intentar explicar los volúmenes mediante una función común por medio del análisis de la covarianza, comparando las pendientes y términos independientes de las tres funciones obtenidas, se llega a la conclusión que las tres áreas no pueden ser agrupados en un sólo modelo de regresión que tenga por objetivo la estimación de los volúmenes, sin una consecuente pérdida de exactitud.



De igual forma, el ajustar otros modelos para la estimación del volumen independiente del área de aplicación agrupando los datos como si proviniesen de un sólo rodal, permite concluir que los modelos estudiados en general no serían eficientes.

Uno de los modelos seleccionados presenta valores aceptables para los indicadores de la bondad del ajuste (modelo A), sin embargo, en el uso de esta función se debe considerar que por su estructura logarítmica presenta una subestimación constante del volumen.

Esta falta de estimación puede deberse a las diferencias de crecimiento encontradas en las tres áreas de estudio, con la presencia de árboles que por sus características no permiten ser asociados con el resto de los individuos a través de un solo modelo predictor. Estas situaciones pueden ser mejor analizadas mediante el uso de modelos individuales, obteniendo una mayor precisión en cada área de estudio.

Los modelos obtenidos por área geográfica son confiables en sus estimaciones. Sin embargo, se debe considerar que estos tienen como base rodales adultos de *E. globulus*, por lo que serían de utilidad en la estimación de volúmenes aserrables o para la producción de chapas.

El poder contar con un modelo para volumen que sea utilizable en rodales adultos para cualquier zona de crecimiento del *E. globulus* en el país, dependerá de una mayor cantidad de nueva información, de las propias necesidades de herramientas para la predicción forestal, y de las edades de rotación utilizadas.

REFERENCIAS

- Bennet, F.A., Swindel, B.F., 1972.** Taper Curves for Slash Pine. USDA Forest Service Research. Note SE-179.
- Bruce, D., Curms, B. and Vancaevering, H., 1968.** Development of a Sistem of Taper and Volume Tables for Red Alder. For. Sci. 14(3) : 339-350.
- Cao, Q. V., Burkhart H.E., and Max T.A., 1980.** Evaluation of Two Methods for Cubic - volume Prediction of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit. For. Sci. 26(1) : 71-80.
- Draper, N. and Smith, H., 1967.** Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons Inc., New York. 407 p.
- FAO. 1980.** Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento. Vol. 22/1 y 22/2. Roma. 80 p..
- Freese, P., 1960.** Testing Accuracy. Forest Service. Washington D.C. Volume 6 (2).

Husch, B., Miller, C., and Beers, T., 1982. Forest Mensuration. Third edition. The Ronald Press Company. New York. 402 p.

INFOR. 1991. Eucalyptus, Principios de Silvicultura y Manejo. CORFO-INFOR, Santiago. 197 p.

Kerruish, C. and Rawlins, W., 1991. The young eucalypt report. CSIRO, Australia. 272 p.

Ostle, B., 1977. Estadística aplicada. México. Ed. Limusa-Wiley. 628 p.



SUBSIDIO A LA FORESTACIÓN Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO Iván Chacón Contreras, Ingeniero Forestal, M. Sc., Escuela Ingeniería Forestal, Universidad de Talca, Casilla 721, Fono 200446, Talca.

RESUMEN

Se estudia el efecto del subsidio a la forestación, contenido en el Decreto - Ley 701, sobre la percepción del riesgo y sobre la rentabilidad privada de los forestadores particulares.

Mediante la revisión de la literatura en el tema, el trabajo concluye que el efecto del subsidio sobre la rentabilidad es insignificante. Sin embargo, la presencia de un subsidio puede cambiar muy significativamente la percepción del riesgo de los forestadores particulares, medido a través del "coeficiente de equivalente cierto" aplicado a un ejemplo numérico.

Palabras clave: Subsidio forestal, riesgo, DL 701.

ABSTRACT

The forestation subsidy's effect, as established in the decree N° 701, on the return to the investment and the risk perception of private owners was studied.

A literature review showed that the subsidiary effect on the return is not significant, but it could greatly affect the risk perception of investors, which was measured by the "certainty-equivalent coefficient". A numerical example is given.

Key words: Forest subsidizing, risk, decree N° 701.

INTRODUCCIÓN

La dictación del Decreto - Ley 701 (DL 701) en 1974, cuyo aspecto más relevante es la otorgación de un subsidio estatal para los propietarios particulares que forestasen sus predios, trajo como consecuencia una modificación de la conducta de los inversionistas privados, de modo que entre 1975 y 1994 se plantaron más de 1,3 millones de ha en el país, creciendo significativamente la tasa anual de forestación privada. Si bien no es posible afirmar que toda la superficie forestada es consecuencia directa de la existencia del subsidio, se puede atribuir una proporción importante de dicha superficie a la presencia de esta medida de fomento. El resto puede deberse a los significativos cambios de las condiciones políticas, sociales y económicas ocurridos durante la época en que el citado decreto - ley entró en vigencia. (Chacón, 1995).

Contrariamente a lo que se afirma con frecuencia, la existencia de un subsidio a la forestación no modifica en forma significativa la rentabilidad de la inversión silvícola, como lo han demostrado varios autores, que se citan más adelante. Los estudios revisados señalan que la presencia del subsidio a la forestación (considerando también los otros dos subsidios acompañantes, poda y administración anual, en este caso), tiene un efecto sobre la rentabilidad, medida a través de la tasa interna de retorno, que en el mejor de los casos puede alcanzar hasta un 2 % de diferencia para las situaciones con y sin subsidio y, en algunos casos de propietarios que deban pasar desde una situación de renta presunta a otra de contabilidad efectiva, la rentabilidad puede disminuir, debido a la obligatoriedad de pagar impuesto a la utilidad en el momento de cosechar el bosque formado bajo el régimen del DL 701.

El análisis que se presenta en este trabajo puede tener importancia en el contexto de la discusión en torno a las medidas de fomento que se han propuesto en el Proyecto de Ley de Recuperación y Fomento del Bosque Nativo, actualmente en trámite legislativo. Un aspecto relevante de dicho proyecto son los incentivos al manejo y establecimiento de bosque nativo, que básicamente consisten en bonificaciones de inspiración semejante a las contenidas en el DL 701.

Además de lo anterior, se encuentra en avanzado trámite legislativo una nueva ley de fomento a la forestación, que si bien limita la superficie de los predios que se podrán acoger al beneficio del subsidio, contiene disposiciones muy semejantes a las enunciadas por el citado DL 701, por lo que la discusión acerca del impacto de las bonificaciones sobre la conducta de los forestadores particulares continúa vigente.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo del presente artículo es mostrar que la existencia de un subsidio a la forestación, tal como fué concebido en el DL 701, puede modificar significativamente la

percepción del riesgo de los inversionistas privados al momento de tomar la decisión de forestar.

Además, se pretende mostrar, mediante una revisión de la literatura en el tema, que la presencia del subsidio a la forestación no mejora significativamente la rentabilidad de un inversionista privado. Incluso, en el caso de los forestadores que deben pasar desde tributación por renta presunta a pagar impuesto a la utilidad, la rentabilidad de la inversión puede disminuir, debido a la obligación de llevar contabilidad efectiva a quienes se acogen a los beneficios del citado decreto - ley.

El artículo defiende la hipótesis de que el principal efecto de un subsidio sobre la conducta de los forestadores privados es la modificación de la percepción del riesgo del inversionista, más que el mejoramiento de la rentabilidad de la inversión.

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Herrera (1982) calculó el valor actual neto (para una tasa de descuento de 10 %) y la tasa interna de retorno de un proyecto de forestación privado con y sin subsidio, para una sola rotación. Registró como costos la tierra, mano de obra y capital financiero, y como beneficios incluyó la venta de la madera a la edad de la cosecha y un sobreprecio del suelo al final de la rotación. Este último beneficio lo justificó en la mayor valoración que tendría un suelo forestado debido a la detención del proceso erosivo. El autor comentado concluyó que el subsidio mejora la rentabilidad privada desde 14.4 a 16 %, en términos de tasa interna de retorno, para la VIII Región del país.

Aninat, Claro y Méndez (1982) afirmaron que la actividad forestal no sería rentable en ausencia del DL 701 para una tasa de descuento de 10 %, pero los autores tomaron datos de precios de la madera de 1982, transitoriamente muy bajos, por lo que añaden que si la madera aumentara en 27 % su precio, el proyecto sería rentable aún sin subsidio. De hecho, los precios subieron más de 50 % en los años posteriores.

Wisecarver (1988), citando un estudio del Banco Mundial, afirmó que aún sin el subsidio, la actividad sería rentable con una tasa de descuento de 10 %.(Banco Mundial, 1986. "Chile: Forest Industries Sub-sector Study". Citado por Wisecarver, op. cit.).

PROCONSULT (1991) desarrolló una exhaustiva evaluación privada (además de una aproximación a una evaluación social individual). El trabajo registró con detalles los ingresos y egresos para un predio - tipo de 200 ha, índices de sitio de 16, 20, 24 y 28 m y tasa de descuento 11 %. El estudio encontró diferencias de aproximadamente 1 punto porcentual en todas las clases de sitio, registrando rentabilidades negativas para el índice de sitio 16, sólo en ausencia de subsidio. Las rentabilidades fluctuaron entre 10.9 y 13.6 % sin subsidio y 12.8 y 14.8 % con subsidio.

Fierro y Morales (1994) estudiaron también la rentabilidad privada de la forestación en presencia y ausencia de subsidio, para una y para infinitas rotaciones (valor potencial del suelo). En este trabajo los flujos de caja de los proyectos aparecen muy bien respaldados, siendo el trabajo más completo a la fecha. Asimismo, presentó flujos de gastos e ingresos para dos especies, pino insigne y eucaliptus globulus, tasa de descuento de 12 % e impuesto a la utilidad de 15 %.

Para el caso de pino insigne en el mejor sitio (600 m³/ha a los 26 años de edad), los autores encontraron una diferencia de 133 US\$/ha entre las situaciones con y sin subsidio, para infinitas rotaciones (948 y 815 dólares, respectivamente). Para una sola rotación, la diferencia también es de 133 dólares (158 a 25 US\$/ha). Para otras dos calidades de sitio inferiores, encontraron rentabilidades negativas para ambas situaciones.

Chacón (1995), mostró que la rentabilidad privada de un forestador particular que debe cambiar su régimen tributario desde renta presunta a contabilidad efectiva puede disminuir, dado que al momento de cosechar deberá pagar impuesto a la utilidad. En el caso de un predio de propiedad de una empresa que debe tributar por contabilidad efectiva, se encuentre o no acogido al DL 701, la diferencia de rentabilidad medida en términos de valor actual neto es casi insignificante, al comparar las situaciones con y sin decreto - ley.

El mismo autor señaló que para el caso de propietarios pequeños, más aún si se trata de aquellos más pobres, la rentabilidad puede ser menor todavía y llegar incluso a niveles negativos, ya que probablemente sus costos de forestación son más altos que los de propietarios más grandes, quienes acceden a mayores conocimientos técnicos y a economías de escala. También señaló que el costo anual asociado al programa de forestación puede ser más alto en el caso de propietarios pobres, puesto que para ellos el costo de oportunidad del suelo es elevado, debido a que le dan una utilización de subsistencia a la tierra, aunque este enfoque es de difícil expresión práctica. Estos propietarios, sin embargo, habitualmente no pagan el impuesto a la utilidad, dada la dificultad de fiscalización por parte del Servicio de Impuestos Internos y dado también que frecuentemente venden su bosque en pie, aumentando dicha dificultad. Por otra parte, ellos abaratan costos utilizando su propio trabajo, el que en muchos casos no tiene valor alternativo en la época del año pertinente.

Respecto del bosque nativo, no hay estudios de rentabilidad comparada con y sin subsidio, ya que este tipo de incentivos no se ha aplicado para los bosques naturales y tampoco se ha simulado el efecto de un subsidio en este caso. Sin embargo, Aguilera (1994), encontró que el manejo de renovales de *Nothofagus* para una superficie de 100 ha en la VIII Región resulta rentable sin subsidio estatal, pero el análisis incluye una significativa extracción de madera al momento de iniciar el ordenamiento del bosque.

Paredes (1992) señaló que la política forestal vigente (refiriéndose al subsidio a la forestación) ha sido exitosa en el caso de las plantaciones artificiales, pero que ha demostrado ser insuficiente para la utilización económica y conservación del bosque nativo. El autor analizó separadamente los bosques que cubren suelos frágiles de los que no presentan este problema y cuyas tasas de crecimiento son menores que el costo alternativo del capital. Para este último caso sugiere que el Estado disponga mecanismos que ajusten la evaluación privada a los objetivos sociales y señala que el mecanismo más directo para financiar las operaciones de manejo son las tasas de interés subsidiadas, aclarando que existen otros mecanismos para lograr el mismo efecto.

Para el caso general de bosques nativos en manos privadas, el citado autor propone que se subsidie sólo en aquellos casos en que el valor neto presente privado sea negativo a tasas de descuento comerciales y excluye la posibilidad de subsidiar predios cuyo valor presente neto sea positivo debido a la extracción de volúmenes comerciales durante los primeros años. Propone subsidiar las actividades de forestación, los raleos de renovales, el ordenamiento, el enriquecimiento y la administración. Tal proposición, como se aprecia más adelante, es congruente con la hipótesis de este trabajo, en el sentido de que tal esquema de subsidios efectivamente tendría un efecto positivo sobre el incremento del manejo del bosque nativo, por la vía de modificar la percepción del riesgo de los inversionistas. Planteamientos similares se observan en el proyecto de ley del bosque nativo en discusión en el Congreso.

Los resultados informados por los autores citados hacen pensar que, en presencia de un subsidio a la forestación, no es un aumento de rentabilidad lo que modifica la conducta de los inversionistas privados al momento de tomar la decisión de invertir. Tal premisa induce a buscar una explicación razonable del cambio de tal conducta, en otro factor relevante en la decisión de invertir. Este factor es la percepción del riesgo de los inversionistas.

Esta presunción, efecto del subsidio en la percepción del riesgo, está respaldada empíricamente en Chacón (1995), quien encontró evidencia acerca de la opinión de los propios forestadores particulares en relación con el tema. En efecto, en una consulta directa a inversionistas silvícolas privados, más de la mitad de los forestadores medianos declaró que el subsidio a la forestación disminuye el riesgo y una cuarta parte adicional señaló que influye tanto en el riesgo como en la rentabilidad.

El principal factor de riesgo inherente a la inversión silvícola está asociado al largo periodo de maduración de la inversión, en otras palabras, al largo plazo que media entre la plantación y la cosecha final. A pesar de registrarse en Chile rotaciones relativamente cortas, en comparación con otros países, éstas se aproximan a cifras entre 15 y 25 años, plazo tan largo que no tiene comparación con ninguna otro tipo de inversión. Así, el inversionista privado se mostrará siempre renuente a realizar una inversión cuya recuperación se encuentra tan alejada de su inicio, debido a que le

resultará difícil estimar con precisión el monto de los ingresos al momento de la liquidación de la inversión.

METODOLOGÍA

El trabajo consiste, básicamente, en la observación del efecto de un subsidio a la forestación sobre la percepción del riesgo de los inversionistas privados, mediante el desarrollo de un ejercicio numérico para un propietario forestal mediano, con datos estandarizados.

Para el análisis del cambio en la percepción del riesgo de un inversionista forestal, se desarrolló un ejemplo simplificado de inversión silvícola, denominado "sin manejo". Se analizó el efecto de la presencia de un subsidio, ubicado en el primer año del flujo de caja de un proyecto de forestación, sobre el "equivalente cierto" del ingreso neto a la fecha de la cosecha final, ubicada en el año 20 en el ejemplo.

El efecto del subsidio sobre la percepción del riesgo del inversionista se cuantificó mediante el "coeficiente de equivalente cierto", que es un coeficiente de equivalencia a la certidumbre de un flujo riesgoso. Este coeficiente varía entre 0 y 1, en forma inversamente proporcional con el riesgo asociado al flujo incierto. (Van Horne, 1979).

El coeficiente de equivalente cierto tiene la propiedad tal que,

$$C^* = a * C$$

Donde "C" es el flujo riesgoso; "C*" es un monto equivalente libre de riesgo y "a" es el coeficiente de equivalente cierto. Así, según CLUTTER et al (1983), el valor actual neto de una inversión es:

$$VAN = a_1 * C_1 / (1+i) + a_2 * C_2 / (1+i)^2 + \dots + a_n * C_n / (1+i)^n$$

Donde VAN es el valor actual neto cierto y C₁, C₂, ..., C_n, son flujos netos riesgosos en los años 1, 2, ..., n.

El coeficiente de equivalente cierto "a" es una medida del grado de aversión al riesgo del inversionista. Un inversionista con un "a" cercano a 1 está dispuesto a asumir un alto nivel de riesgo, pero si el coeficiente es cercano a cero, el inversionista

no está dispuesto a asumir riesgo, o bien, ante la presencia de beneficios con riesgo, está dispuesto a invertir sólo si el monto de la inversión es menor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cuantificar el efecto del subsidio sobre la percepción del riesgo se presenta a continuación el resultado de un ejercicio simplificado.

Se asumió un esquema "sin manejo", ya que no tiene sentido práctico sofisticar el ejemplo. El esquema "sin manejo" supone que no existen intervenciones de mejoramiento del bosque, tales como podas y raleos, pero incluye un gasto anual constante por concepto de administración del bosque.

Sea V_0 = inversión inicial (forestación), pesos.

V_n = beneficio neto de la inversión (cosecha), n años más tarde, pesos.

e = gasto anual constante, pesos

t = tasa interna de retorno, valor decimal.

n = período de maduración de la inversión, años.

Entonces la relación que determina la tasa interna de retorno, " t ", es:

$$-V_0 + \frac{V_n}{(1+t)^n} - e \frac{(1+t)^{20} - 1}{t(1+t)^{20}} = 0$$

Si el inversionista piensa que " V_n " tiene riesgo, entonces estará dispuesto a invertir menos, por ejemplo $V_0 - s$, de modo que:

$$-V_0 - s + \frac{V_n * a}{(1+t)^n} - e \frac{(1+t)^{20} - 1}{t(1+t)^{20}} = 0$$

Donde " a " es un "coeficiente de equivalente cierto" cuyo monto fluctúa entre 0 y 1, operando como un factor que, multiplicado por el flujo riesgoso (la cosecha o " V_n ", en este caso), permite obtener el equivalente cierto de este ingreso. Esto significa que el flujo neto de la cosecha en el año 20 puede ser inferior al inicialmente programado, pero libre de riesgo, manteniéndose la misma tasa de ganancia.

El monto "s", en la situación que interesa analizar aquí, puede quedar bien representado por el subsidio a la forestación, lo que explica por qué a pesar de que "s" es de un reducido monto, tiene efecto sobre la conducta de los forestadores, aún cuando su aporte a la rentabilidad general del proyecto sea escaso o francamente nulo.

Para mostrar numéricamente lo anterior, se asumió que:

$V_0 = 120.000$ \$/ha. (Plantación, año 0).

$S = 52.959$ \$/ha. (Subsidio, año 1).

$V_n = 3.000.000$ \$/ha. (Cosecha neta en el año n).

$c = 15.000$ \$/ha/año. (Gasto anual constante).

$N = 20$ años.

Sin subsidio, la tasa de ganancia del proyecto es:

$$-120.000 + \frac{3.000.000}{(1+t)^{20}} - \frac{15.000[(1+t)^{20} - 1]}{t(1+t)^{20}} = 0$$

De donde $t = 0,14$.

Con subsidio, manteniendo la tasa "t" constante:

$$120.000 - \frac{52.959}{1,14} + \frac{33.000.000 * a}{(1,14)^{20}} - \frac{15.000[(1,14)^{20} - 1]}{0,14(1,14)^{20}} = 0$$

De donde $a = 0,79$.

Este resultado muestra que un reducido monto del subsidio (44 % de la inversión inicial, en este caso), determina un equivalente cierto de la cosecha que alcanza a un 79 % del monto con riesgo, para mantener la misma rentabilidad. En otras palabras, con subsidio, el inversionista podría aceptar un retorno de \$2.370.000 para la cosecha ($3.000.000 \times 0,79$), obteniendo la misma rentabilidad, información que sin duda es decisiva al momento de invertir. Vale la pena destacar que un "a" de 0,79 es bajo, en general, y refleja una alta aversión al riesgo de quien debe tomar la decisión de invertir.

Este es el esquema de razonamiento probablemente más influyente en la decisión de los inversionistas privados al momento de forestar, tal vez más decisivo que el dudoso mejoramiento de la rentabilidad.

Expresado de otro modo, si no existiera el subsidio a la forestación, estimado en este ejemplo en 52.959 \$/ha percibidos en el año 1, el ingreso neto de \$ 3.000.000 por hectárea en el año 20 debería considerarse como seguro, para el nivel de rentabilidad estimado mediante la tasa interna de retorno. Pero la existencia del subsidio modifica esta percepción al punto de que dicho monto puede considerarse riesgoso y pasa a ser equivalente a 2.370.000 \$/ha, monto que sí puede considerarse exento de riesgo. Estrictamente, esta última cifra no puede calificarse como completamente segura, pero refleja con exactitud el nivel mínimo de retorno bajo el cual el inversionista no estaría dispuesto a invertir.

Si bien en este trabajo no se aborda el caso de un esquema de manejo intensivo, lo que evidentemente constituye una limitación, se puede argumentar que al tomar la decisión de invertir en forestación, el propietario rural que no es una empresa sino un potencial silvicultor, percibe como factores relevantes en su decisión el costo de la inversión inicial (plantación) versus el ingreso de la cosecha final. Luego, las decisiones de manejo las va tomando una cada vez, a medida que pasa el tiempo, de modo que para efectos del análisis de riesgo antes presentado, un esquema "sin manejo" parece más adecuado que un esquema intensivo. Es pertinente señalar que el coeficiente "a" se acerca a 1 a medida que aumenta el nivel de intensidad del manejo, cosa que se puede verificar con facilidad incorporando más intervenciones silviculturales.

Extendiendo el análisis para el caso del bosque nativo, al menos teóricamente, un esquema de subsidio a la inversión inicial en proyectos de mejoramiento y recuperación de bosque nativo debiera funcionar en forma similar al caso de plantaciones, como se ha analizado aquí, puesto que el factor probablemente más relevante en la decisión de invertir en bosque nativo, es el largo periodo de maduración de la inversión, en muchos casos más extenso que en el caso de plantaciones. Al mismo tiempo, puede pensarse que el riesgo asociado al monto de la cosecha final en el caso de especies nativas también puede ser mayor que en especies exóticas, debido a las dificultades que subsisten para predecir con certeza el volumen final y la respuesta al manejo, condiciones que para las especies exóticas son bastante más conocidas.

Con el mismo esquema de análisis, una política de diversificación de especies exóticas, como la que ha planteado el actual gobierno, debería ir acompañada de un esquema de subsidios que permita aumentar la certidumbre de los inversionistas privados. En muchas de las especies propuestas, además de mantenerse la limitación del largo periodo de maduración de la inversión, ya señalada, cobra importancia significativa la incertidumbre acerca del destino futuro del patrimonio creado gracias a los incentivos estatales.

Finalmente, como un comentario adicional para el caso del bosque nativo, es justificable que el monto de un subsidio para una inversión privada en mejoramiento de este recurso sea de un monto bastante más elevado que para el caso de plantaciones de especies exóticas, dado el alto valor que aparentemente asigna la sociedad a la existencia de bosque natural y, por ende, a la insustituibilidad de este recurso por otro de crecimiento más rápido. El subsidio serviría de incentivo para la inversión privada en bosque nativo, por una parte, y de compensación social al propietario, por otra, por destinar su recurso a una inversión de tan larga maduración. La exención de impuestos para los propietarios que mantengan bosque natural en pie es una medida que apunta en la dirección correcta, aún en el caso de que se les subsidie la inversión inicial. También es correcto, en este mismo sentido del análisis, subsidiar los gastos de administración anual de los propietarios que, bajo plan de manejo, protejan y cuiden sus bosques. Mediante tal incentivo, la sociedad conseguiría que los propietarios privados posterguen por más tiempo la cosecha final, cumpliendo con objetivos sociales más que privados y, al mismo tiempo, la sociedad compensa la postergación de beneficios privados de los propietarios.

CONCLUSIONES

- La presencia de un subsidio a la forestación, puede tener muy poco efecto sobre la rentabilidad de las empresas, y puede afectar negativamente la rentabilidad de los forestadores particulares que deben cambiar su régimen tributario desde renta presunta a primera categoría.
- Dicho subsidio, en cambio, puede tener un efecto muy significativo sobre la percepción del riesgo de un forestador privado. Medido en términos del "coeficiente de equivalente cierto", un subsidio de reducido monto, del orden del 44 % del costo de forestación, permite estimar un monto equivalente cierto de la cosecha del orden del 79 % del monto neto con riesgo, para mantener constante el nivel de rentabilidad, para un ejemplo numérico que aborda el caso de un esquema silvicultural "sin manejo".
- Para el caso del bosque nativo, es razonable pensar que el efecto de un subsidio al mejoramiento y manejo de este recurso puede actuar en el mismo sentido que para las plantaciones de especies exóticas, dado que el problema del largo periodo de maduración de la inversión está tanto o más presente en el caso de bosque natural que en el artificial.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Aguilera, R. 1994.** "Evaluación Económica del Manejo de Renovales Nothofagus (Bosque Nativo) en la VIII Región. En: Economía y Administración. Universidad de Concepción, Chile. pp 5-43.
- Aninat, Claro y Méndez Ltda. 1982.** "Estudio Económico de los Costos y Beneficios Asociados al DL 701 de Fomento Forestal". Informe presentado a CONAF. Mimeo, 279 p. Stgo, Chile
- Chacón, I. 1995.** "Análisis de los Efectos Económicos del Subsidio a la Forestación en la VII Región". Tesis de Magister en Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 138 p.
- Clutter, Fortson, Pienaar, Brister y Bailey. 1983.** "Timber Management: A quantitative approach". John Wiley and sons. USA.
- Fierro, G. y Morales, R. 1994.** "Evaluación del Subsidio a la Forestación y Propuesta para su Continuación Después de 1994". Departamento de Ingeniería Industrial, U. de Chile. Mimeo, 42 p. y anexos.
- Herrera, A. 1985.** "Análisis de la Política Forestal en Chile: 1974-1982". Tesis de Magister en Evaluación Socio-económica de Proyectos, Pontificia Universidad Católica de Chile. 84 p.
- Paredes, G. 1992.** "Economía de las Bonificaciones al Bosque Nativo". Informativo de Convenio N° 197, Universidad Austral - Corporación Nacional Forestal. Mimeo. 36 p. y anexo.
- PROCONSULT S.A. 1991.** "Evaluación Económica del DL 701 y su Impacto en la Estructura Multisectorial". Mimeo, 216 p. Informe presentado a CONAF.
- Van Horne, J. 1979.** "Fundamentos de Administración Financiera". Prentice/Hall International.
- Wisecarver, D. 1988.** "El Sector Forestal Chileno: Políticas, Desarrollo del Recurso y Exportaciones". Doc. de Trabajo N° 112, Instituto de Economía, P. Universidad Católica de Chile. 39 p.

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL EN CUENCAS ABASTECEDORAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ALTA MONTAÑA. Susana Benedetti R. y Sandra Perret D. Ingenieros Forestales, Instituto Forestal, División Silvicultura, Huérfanos 554, Fono 6396189, Fax 6381286.

El presente trabajo fue solicitado por la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias S.A (EMOS) al Instituto Forestal con el fin de determinar acciones de restauración de la vegetación en dos sectores de captación del recurso hídrico, El Canelo y Laguna Negra, zonas de importancia significativa ya que contribuyen al abastecimiento de agua para la población del Gran Santiago.

El aporte del recurso hídrico en estas zonas lo constituye la precipitación pluvial y nival, sin embargo el excedente que escurre superficialmente contribuye de modo marcado a generar procesos erosivos o pérdidas de suelo, debido principalmente a que se mueve sobre áreas desnudas, desprovistos de una cubierta vegetal adecuada.

Es así que el desarrollo y manejo de ecosistemas en zonas de alta montaña es muy complejo. Se trata de zonas generalmente aisladas, de topografía abrupta, suelos pobres, fuertes vientos, bajas temperaturas y largo periodo seco. El desafío que representan estos ecosistemas es proporcionarles los elementos necesarios para su desarrollo, protección y recuperación.

Una alternativa para paliar en parte los problemas antes mencionados es la repoblación vegetal. Esta se visualiza como un instrumento que permite la rehabilitación de terrenos por medio de medidas de ajuste en el uso de la tierra tanto biológicas como mecánicas, que contribuyan a reducir las tasas de erosión, regular el ciclo hídrico y dar mayor estabilidad al ecosistema.

De esta forma el trabajo se orientó considerando una primera fase de caracterización de la zona de estudio, de sus problemas hídricos y vegetacionales, incluyendo una propuesta técnica de acción futura, y una segunda fase en la cual se aplicarían las soluciones técnicas propuestas.

El objetivo general de la primera fase fue entregar una propuesta técnica que tendiera a la recuperación y estabilización de estos ecosistemas para su aprovechamiento sostenido.

Los objetivos específicos considerados fueron:

- Caracterizar el área en términos de clima, suelo, geología, vegetación y otros factores incidentes en el sitio forestal.
- Seleccionar por medio de criterios edafoclimáticos las especies por utilizar en las áreas definidas.
- Zonificar el área de estudio en unidades homogéneas, según la vulnerabilidad a la erosión y posibilidad de éxito para la implantación de vegetación.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica geográficamente en el sector sur - oriental de la Región Metropolitana, perteneciente a la comuna San José de Maipo de la Provincia Cordillera. Si bien esta comuna está influenciada fuertemente por la Cordillera de los Andes, las zonas de interés del estudio se pueden diferenciar claramente en dos sistemas.

Sector El Canelo

Ubicado en una zona más baja, forma parte de la precordillera andina y se sitúa a 900 m de altitud sobre el nivel del mar.



Figura Nº 1. EL CANELO

Sector Laguna Negra - Lo Encañado

Ubicado en la subcuenca del Río Yeso, donde es parte de la formación cordillerana. Laguna Lo Encañado se encuentra a 2.470 msnm, y Laguna Negra esta ubicada a 2680 msnm.

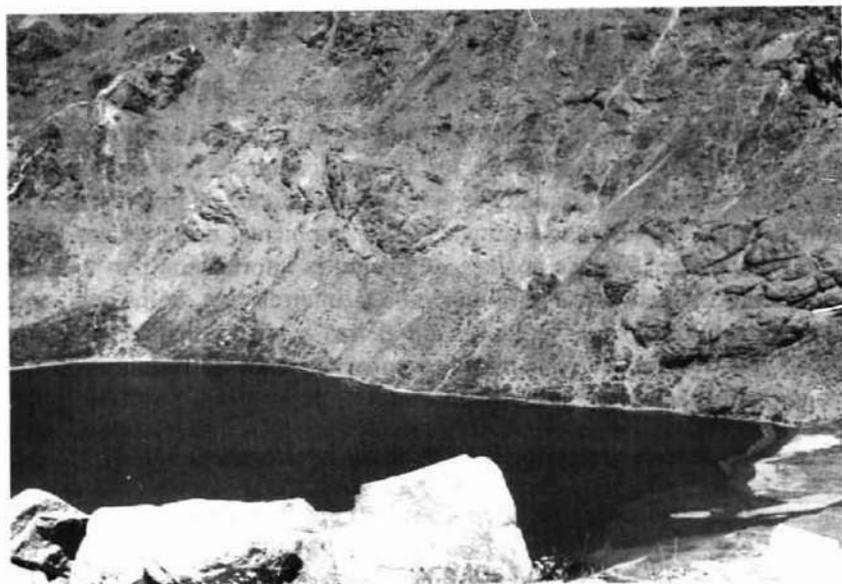


Figura Nº 2. LAGUNA LO ENCAÑADO



Figura Nº 3. LAGUNA NEGRA

METODOLOGIA

En todo estudio sobre planificación del uso y manejo del territorio, adquiere particular importancia la evaluación de los recursos naturales. Para enfrentar el diagnóstico de los sistemas bajo estudio, se optó por un enfoque de tipo holístico donde en una primera etapa se enfrenta la caracterización ambiental de las zonas y en una segunda fase, ya con elementos de análisis, se integra la información por medio de un sistema de información geográfica, en función de la interrelación de los componentes, zonificando e identificando las "unidades de tierra" y determinando su aptitud o vulnerabilidad a la erosión, de manera de proponer acciones de restauración que no afectaran significativamente el equilibrio ambiental.

En este contexto se hace necesario plantear ciertas interrogantes:

- ¿Cuales son las restricciones para llevar a buen término los objetivos?
- ¿Que especies son suficientemente aptas para este tipo de ecosistemas?
- ¿Cuales son las técnicas de establecimiento más apropiadas para una repoblación vegetal exitosa?

Tanto las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, nativas como exóticas, como las intervenciones silvícolas por implementar deberían responder a las interrogantes antes planteadas, a los requerimientos de la empresa y a la capacidad de resiliencia del medio.

La metodología propuesta para las metas planteadas se sintetiza en la Figura N°4.

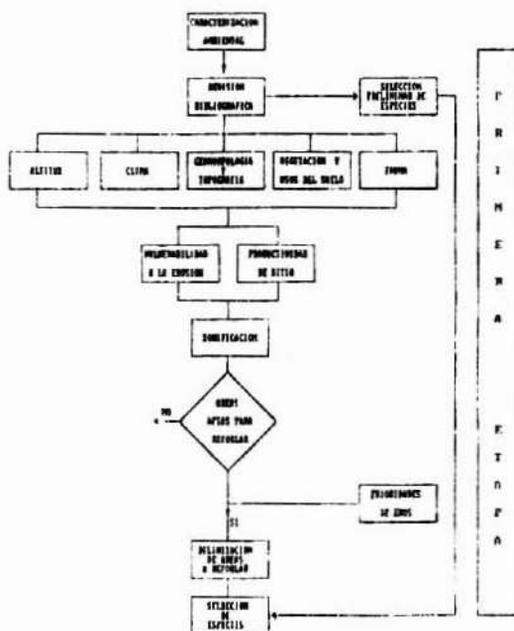


Figura Nº 4. SECUENCIA METODOLÓGICA

Caracterización Ambiental

El procedimiento por el cual se evalúa la aptitud de los suelos para usos específicos se denomina Evaluación de Tierras (FAO, 1976; ITC, 1972; CSIRO, 1967). Esto implica la ejecución o interpretación de reconocimientos y estudios de relieve, suelo, vegetación, clima y otros aspectos del sitio, con el propósito de identificar y comparar las clases más prometedoras de uso de la tierra, en términos aplicables a los objetivos de la evaluación.

El principal producto de este estudio es una clasificación de las tierras que indica la aptitud para usos específicos representada en mapas e informes.

Las fases de Trabajo para la Caracterización Ambiental son las siguientes:

- 1.- Recopilación de Información Disponible
- 2.- Inventario
- 3.- Depuración de Información
- 4.- Cartografía
- 5.- Elaboración y Análisis de la Información

Análisis de la Vegetación

Para la descripción global de la vegetación y obtener información más específica de las áreas de estudio, se realizó un muestreo en transecto sobre el gradiente altitudinal. En él se determinó para las distintas comunidades vegetales, el grado de similitud entre ellas, cambios en la composición florística, patrón de distribución espacial, cobertura, altura media de las especies dominantes y el grado de intervención antrópica que hoy existe.

Determinación del Grado de Erosionabilidad y Zonificación

La zonificación está basada en la integración de la información topográfica, vegetal y geológica generada en el diagnóstico preliminar. Como resultado de este proceso se establecen y definen unidades homogéneas que entregan información sintetizada de los parámetros que determinan las áreas, según su susceptibilidad a erosionarse, grado de erosionabilidad.

La erosionabilidad o vulnerabilidad a la erosión es la susceptibilidad a la erosión ó el grado de erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro en una determinada zona (CEOTMA, 1991).

PROPUESTA TECNICA

Poner en práctica acciones técnicas con un criterio equivocado puede ser más dañino que el no utilizarlas. En la Naturaleza existen múltiples relaciones y dependencias, que están sujetas al factor tiempo para hacer de ellas un sistema que funcione como una estructura en equilibrio y capaz por sí sola de regularse frente a fenómenos naturales. Todo ello determina su dinámica.

Para lograr ésto en un sistema artificial, es necesario que las especies por emplear, ya sean nativas o exóticas, puedan adaptarse, estableciendo relaciones y dependencias, de manera que la competencia llegue a valores estables para mantener el medio en un estado similar al original.

En este contexto, la estrategia corresponde a un plan de manejo, en base a una ordenación del territorio que responda a una zonificación según potencialidades y fragilidades del medio. El manejo de un sistema se dirige principalmente a mantener la calidad tal como existe en un ecosistema natural o recuperar el ambiente de modo de lograr el equilibrio.

Las medidas de recuperación del hábitat deben cumplir con los siguientes principios básicos.

- 1.- Estar justificadas de acuerdo a las necesidades biológicas, características físicas y fundamentadas en investigaciones.
- 2.- Ser evaluadas para conocer los efectos sobre el medio.
- 3.- Ser económicamente practicables y especificar si su objetivo es mantener, mejorar o alterar las características existentes.
- 4.- Las medidas deben ser orientadas hacia una mejora de las condiciones naturales.

En función de lo anterior la propuesta técnica tiene como premisa:

"Llevar el Sistema a un estado de equilibrio, por medio de la restauración de la cubierta vegetal, para el aprovechamiento sostenido de la cuenca".

De acuerdo a la integración de la información, el mapa obtenido según grado de erosionabilidad arroja las siguientes unidades homogéneas, sin olvidar que al interior de éstas es posible encontrar situaciones locales de mayor o menor vulnerabilidad:

- 1.- Unidad de Muy Bajo Grado de Erosionabilidad
- 2.- Unidad de Bajo Grado de Erosionabilidad
- 3.- Unidad con Alto Grado de Erosionabilidad
- 4.- Unidad de Muy Alto Grado de Erosionabilidad

Para efectos de la acciones técnicas propuestas, éstas van dirigidas a la unidad haciendo énfasis en algunas situaciones especiales:

- 1.- Recuperación de laderas con un Sistema Asociado de Arboles, Arbustos y Pastos.
- 2.- Enriquecimiento de Unidades Vegetacionales de especies nativas con bajo grado de deterioro.
- 3.- Forestación de Especies Arbóreas en la Cima.
- 4.- Recuperación de Laderas con sistemas Silviculturales de Enriquecimiento y Técnicas locales e intensivas de Establecimiento.
- 5.- Establecimiento de Bosquetes de Prueba de Especies Introducidas, Nativas y Exóticas, en tres niveles altitudinales.

En consideración a que INFOR es una institución orientada principalmente a la investigación, es que se proponen ensayos de introducción de especies en tres situaciones altitudinales entre los 1.400 y los 2.000 msnm. Estos ensayos tendrán un carácter experimental, dado que en nuestro país existen muy pocos antecedentes sobre este tipo de trabajos en zonas de alta montaña.



BIBLIOGRAFIA

CEOTMA, 1991. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Madrid. 572 p.

CSIRO, 1967. Land of Bougainville and Buba Islands, Territory of Papua and New Guinea. Land Research Series, 20, Melbourne.

FAO, 1976. A Framework for Land Evaluation. FAO, Soil Bull, 32, Roma.

ITC, 1972. Land Evaluation and Landscape Science. Textbook of Photointerpretation, vol. 27, Enschede.

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 (km 7,5 camino a Coronel, Concepción).

1.- LA INDUSTRIA DEL ASERRÍO 1994. Boletín Estadístico N° 42, División Estudios Económicos, Instituto Forestal 1996. 145p, anexos. Caracteriza y cuantifica la gestión productiva de la industria del aserrío durante 1994. En la primera parte se describe el aserrío a nivel nacional (producción, estructura, ocupación, aspectos tecnológicos, tratamientos de la madera, inversiones, destino de las exportaciones y precios). La segunda parte presenta igual información, pero desagregada a nivel regional, desde la IV a la XII Regiones de Chile.

2.- EXPORTACIONES FORESTALES CHILENAS 1995. Boletín Estadístico N° 43, División Estudios Económicos. Instituto Forestal - CONAF, 1996. 144p. Analiza las exportaciones chilenas durante el año. Incluye directorios Exportador/Producto y Exportadores Forestales.

3.- PRECIOS DE PRODUCTOS FORESTALES (actualizados a Diciembre de 1995). Boletín Estadístico N° 44. División Estudios Económicos, Instituto Forestal, 1996. 97p. Proporciona series de precios de los productos forestales que Chile vende en el mercado interno desde 1984 y en el mercado externo desde 1986.

4.- ESTADÍSTICAS FORESTALES 1995. Boletín Estadístico N° 45. División Estudios Económicos, Instituto Forestal, 1996. 117p. Contiene capítulos referentes a Indicadores macroeconómicos, El recurso forestal, Consumo y Producción, Comercio Exterior, Precios de productos forestales, Transporte, Disponibilidad futura de madera de pino radiata. Ocupación forestal, Proporciona antecedentes sobre la trayectoria del sector en la actividad económica del país, el recurso forestal existente y los niveles de producción y comercio de la industria forestal primaria durante 1995 y años anteriores.

5.- EL SECTOR FORESTAL CHILENO 1996. Informe Técnico N° 137. División Estudios Económicos, Instituto Forestal, 1996. 205p. Analiza las áreas más significativas del sector forestal. Entrega resultados de las investigaciones de la institución durante los últimos 5 años, en particular el "Estudio prospectivo sobre oportunidades y requerimientos tecnológicos para el desarrollo del sector forestal y actividades productivas y de servicio vinculadas".

6.- GUÍA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA ZONA ÁRIDA. División Silvicultura, Instituto Forestal, 1996. 6p. Folleto divulgativo para pequeños propietarios y comunidades agrícolas.

7.- ESTADÍSTICAS FORESTALES VIII REGIÓN, 1994. Sede Concepción INFOR; CONAF, , 1996. 110p Estadísticas referidas a la principal región productiva forestal del país.

8.- TÉCNICAS SILVÍCOLAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA XI REGIÓN DE AYSÉN. Sede Coyhaique, Instituto Forestal, 1996. 109p. Informe final del Proyecto de idéntico título, que contiene ocho estudios sobre diversos aspectos de la materia.

9.- ARBORICULTURA. División Silvicultura, Instituto Forestal, 1996. 11p. Folleto divulgativo generado por el Proyecto "Silvicultura de especies no tradicionales: una mayor diversidad productiva".

10.- ACTUALIZACIÓN BOSQUE NATIVO VIII A X REGIONES, División Ordenación Forestal e Inventarios, Instituto Forestal, 1996. 20p. Extracto de resultados del proyecto respectivo, cuyo objetivo fue determinar la actual disposición del bosque autóctono en las regiones indicadas, tanto en su localización como en su extensión. También establece una comparación entre la situación del recurso en 1961 y la actual.

11.- MANEJO INTENSIVO DE PINO RADIATA. División Silvicultura, Instituto Forestal, 1996. 32p. Informe final del proyecto correspondiente, que investigó la factibilidad de desarrollar modelos para apoyar el manejo intensivo del pino radiata, visualizando las necesidades y capacidades de los pequeños y medianos productores forestales.

REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN

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 del Sector Forestal que deseen difundir sus experiencias en el área de la silvicultura, el manejo forestal, las industrias de la madera, problemas ambientales y otros temas relacionados con la actividad y desarrollo del Sector.

La publicación tiene 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 dispone 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 importancia dentro del Sector Forestal.

-Notas Bibliográficas: Informes 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:

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 párrafo de reducida extensión.

En las **Referencias** se identificarán todas las fuentes de información 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 estima que la información adicional que presentan es necesaria. 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 podrá adoptar una estructura más simple prescindiendo de los puntos innecesarios.

-Notas Bibliográficas

En las **Notas Bibliográficas** se identificará detalladamente la publicación reseñada, 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 seguido del nombre del o de 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 ésta, 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 (21,6 por 27,9 cm) 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 de los 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 antepondrá un guión antes de estos. No se numerarán los títulos.

Los nombres científicos de especies vegetales o animales se destacarán en letra negrita, con la primera letra del género en mayúscula y las restantes en minúsculas.

Las citas bibliográficas se anotarán en minúsculas y letra corriente, mediante el sistema autor, año. Las referencias bibliográficas se ordenarán alfabéticamente en el punto Referencias, separadas por doble espacio. En este punto se usarán letras minúsculas en negrita para autor (es) y año y minúsculas corrientes para el resto de la identificación bibliográfica, pero la primera letra de las palabras en mayúsculas. No se usarán sangrías 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, 2° piso Santiago.

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

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 10 N°1
Junio de 1996

CONTENIDO

Artículos

- PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN CONTRACHAPADO DE COIGÜE FABRICADO EN CHILE. Vicente Pérez Galaz..... 5
- CARACTERIZACIÓN BIOMÉTRICA DE LAS MADERAS DE *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore y *Pinus strobus* L. CRECIDAS EN EL SECTOR LOS GUINDOS DE LA RESERVA FORESTAL DE MALLECO (CHILE). Roberto Melo y Luis Moraga..... 33
- ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN TABLEROS DE FIBRAS (MDF) Y DE PARTÍCULAS. Peter Niemz y Hernán Poblete..... 49
- ÍNDICE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DOMINANCIA INDIVIDUAL EN RENOVALES DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb) (Oerst)) Y RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp et Endl)). Carlos Bahamóndez y Marjorie Martin..... 63
- FENOLOGÍA DE *E. globulus*, *E. nitens* Y *E. camaldulensis* EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE: ESTUDIO PRELIMINAR. Verónica Loewe, Carlos Alvear y Francisco Salinas..... 73
- DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DE VOLUMEN PARA EUCALIPTO. Juan Carlos Pinilla y Carlos Kahler..... 99

Apuntes

- SUBSIDIO A LA FORESTACIÓN Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO. Iván Chacón..... 121
- CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL EN CUENCAS ABASTECEDORAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ALTA MONTAÑA. Susana Benedetti y Sandra Perret..... 133
- Notas Bibliográficas..... 141
- Reglamento de Publicación..... 143
-