

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE BOSQUES Y MEDIO AMBIENTE



DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE
LAS ESPECIES Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl.;
Cupressus macrocarpa Hartw. Y Pinus strobus L. CRECIDAS
EN LA RESERVA NACIONAL DE MALLECO



ROSENDO ANTONIO AVARIAS LOPEZ

MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1995

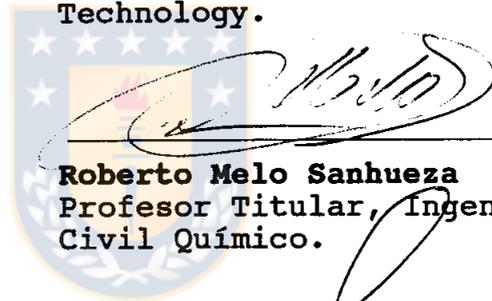
DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ESPECIES
Chamaecyparis lawsoniana (A. MURR.) Parl; Cupressus macrocarpa
HARWT Y Pinus strobus L. CRECIDAS
EN LA RESERVA NACIONAL DE MALLECO.

Profesor Asesor



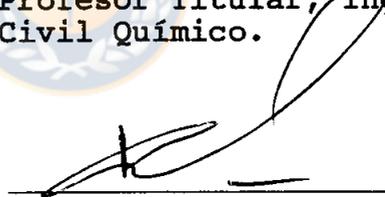
Luis Alberto Valenzuela Hurtado
Profesor Asociado, Ingeniero de
Ejecución en Maderas, Master in
Wood Sc., Ph D. in Wood Sc. and
Technology.

Profesor Co-asesor



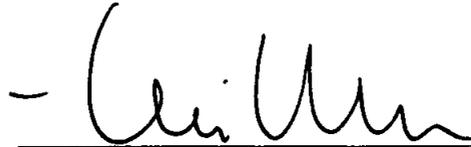
Roberto Melo Sanhueza
Profesor Titular, Ingeniero
Civil Químico.

Director Departamento



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado, Ingeniero
Forestal.

Decano Facultad



Dr. Jaime Augusto Millan Herrera
Profesor Titular, Ingeniero
Forestal.

Agradecimientos.

Quiero expresar mis agradecimientos a los profesores Luis Valenzuela y Roberto Melo por su desinteresado apoyo en este trabajo, además quiero agradecer la ayuda brindada por mis amigos Héctor alcaíno, Francisco Zuñiga, Javier Gandara, Jorge Leiva, Varinia Meza, Hernán Vallejos, Patricio Cisternas, Luis Moraga, Roberto Cabrera, Cristina Villagran y Jorge Baez quienes directa o indirectamente me ayudaron en el desarrollo de la Tesis.

También quiero agradecer a las siguientes Instituciones :



- CONAF, Temuco
- Departamento de Ingeniería en Maderas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bío-Bío.
- Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bío-Bío.
- Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción.

*"A mis padres NIBALDO y PURISIMA
y a mis HERMANOS"*



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION	8
II REVISION BIBLIOGRAFICA	10
2.1 Antecedentes generales.....	10
2.2 Antecedentes de las especies.....	27
2.3 Antecedentes de la Reserva Nacional de Malleco.....	32
2.4 Antecedentes de las parcelas experimentales.....	33
III MATERIALES Y METODOS	36
3.1 Material.....	36
3.2 Metodología general.....	36
3.3 Equipos empleados.....	41
3.4 Determinación de densidades.....	42
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	43
4.1 Resumen de resultados.....	44
4.2 Comportamiento mecánico.....	46
4.3 Efecto del contenido de humedad.....	52
4.4 Comparación con otros estudios.....	54
V CONCLUSIONES.....	56
VI RESUMEN.....	58
SUMMARY.....	59
VII BIBLIOGRAFIA.....	60
VIII APENDICES.....	67

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	<u>En el texto</u>	PAGINA
1	Efecto del contenido de humedad en las propiedades mecánicas.....	24
2	Información dasométrica de las parcelas experimentales.....	35
3	Ensayos mecánicos realizados y normas utilizadas.....	36
4	Diámetro de los árboles seleccionados.....	37
5	Resumen de resultados en estado verde.....	44
6	Resumen de resultados en estado seco.....	45
7	Comparación de las especies en estudio en base a los valores obtenidos de flexión en verde.....	46
8	Comparación de las especies en estudio en base a los valores obtenidos de flexión en seco.....	48
9	Comparación de las especies en estudio en base a los valores obtenidos de compresión paralela a las fibras en estado verde y seco...	50
10	Comparación de las especies en estudio en base a los valores obtenidos de cizalle radial y tangencial en verde y seco.....	50
11	Comparación de las especies en estudio en base a los valores obtenidos de dureza normal y paralela en verde y seco.....	51
12	Comparación de los estados verde y seco respecto a los valores de propiedades mecánicas obtenidos en éste estudio.....	53

En el Apéndice

1 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Pinus strobus</u> en estado verde.....	67
2 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Pinus strobus</u> en estado seco.....	68
3 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> en estado verde.....	69
4 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> en estado seco.....	70
5 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Cupressus macrocarpa</u> en estado verde.....	71
6 A	Valores de propiedades mecánicas de <u>Cupressus macrocarpa</u> en estado seco.....	72
1 B	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> crecida en Estados Unidos con las de éste estudio en estado verde.	73
2 B	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> crecida en Estados Unidos con las de éste estudio en estado seco...	74
3 B	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Pinus strobus</u> crecida en Estados Unidos con las de éste estudio en estado verde.....	75
4 B	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Pinus strobus</u> crecida en Estados Unidos con las de éste estudio en estado seco.....	76
5 B	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Cupressus macrocarpa</u> crecida en Nueva Zelanda con las de éste estudio en estado verde y seco..	77

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Curva de carga - deformación.....	12
2	Zona plástica en la curva de carga-deformación..	16
3	Efecto del tiempo en la resistencia mecánica de la madera.....	19
4	Diagrama de obtención de probetas para los ensayos mecánicos.....	40
5	Curvas promedio de carga versus deflección en flexión estática, estado verde.....	47
6	Curvas promedio de carga versus deflección en flexión estática, estado seco.....	49



I. INTRODUCCION

El crecimiento del país pasa indiscutiblemente por el desarrollo de un vasto potencial de recursos naturales. Dentro de los cuales los recursos forestales son de vital importancia.

En efecto, si consideramos que el 45% del territorio nacional continental corresponde a terrenos de aptitud preferentemente forestal, lo que representa alrededor de 34 millones de há. y que de esta superficie sólo se consideran en uso forestal como tal a 9 millones de há. de las cuales, la gran mayoría (80%), son bosques naturales de zona templada, y el 20% restante son plantaciones artificiales de características monoespecíficas, como es el caso de las plantaciones con Pino Insigne (Pinus Radiata D. Don.) (Infor, 1993). En este contexto es fácil imaginar, que la tarea por alcanzar el desarrollo deseado de éste recurso natural, recién esta comenzando.

La gran diversidad ecológica de nuestro país, sumado a una gran superficie apta para el cultivo forestal sin masas boscosas establecidas, conlleva la necesidad de desarrollar fuertemente la investigación, a fin de estudiar las alternativas que se pueden presentar para la implementación

de programas de forestación en dichas superficies.

Con este objeto se han experimentado diversas especies arbóreas en cuanto a su adaptabilidad en nuestro país. Entre ellas encontramos una situación interesante, única, en las parcelas experimentales establecidas en la reserva nacional de Malleco, que incluyen entre otras especies, Pinus pinaster, Pinus strobus, Pinus coulteri, Cupressus lusitanica, Chamaecyparis lawsoniana y Cupressus macrocarpa todas con edades que oscilan entre los 60 y 62 años.

Estas parcelas se explotaron por orden de Conaf presentándose una oportunidad excelente para obtener información de alto valor científico y tecnológico para decidir y preparar programas de diversificación de especies en plantaciones futuras. Por este motivo la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción en conjunto con Conaf IX Región, están llevando a cabo un proyecto para caracterizar y evaluar estas especies desde el punto de vista de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

El presente trabajo forma parte de este proyecto y tiene como objetivo, determinar las propiedades mecánicas y físicas asociadas en estado verde y seco (12% humedad) de las especies, Chamaecyparis lawsoniana (A. murr.) Parl.; Cupressus macrocarpa Hartw. y Pinus strobus L., bajo condiciones de laboratorio.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales

2.1.1 Propiedades mecánicas. La madera, cuerpo sólido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones (Diaz-Vaz y Cuevas, 1982).

Las propiedades mecánicas o resistentes de la madera miden su disposición o habilidad para resistir fuerzas externas (Norambuena, 1967; Spuler, 1973; Bisso, 1982; Diaz-Vaz y Cuevas, 1982; Perez, 1983).

Por fuerza externa se entiende cualquier sollicitación exterior a una pieza que tiende a alterar su tamaño o forma (Torricelli, 1941; Bisso, 1982; Perez, 1983). La deformación puede ocurrir también debido a fuerzas que actúan enteramente en el interior del cuerpo, como es lo que sucede con la madera debido a los cambios en los contenidos de humedad, aunque estos esfuerzos están relacionados con las propiedades físicas de la madera más que con las propiedades de resistencia (Perez, 1983).

En gran parte las propiedades mecánicas de la madera determinan la aptitud que ella tiene para su uso como

estructuras constructivas, muebles y otros.

En realidad, no existe un sólo uso de la madera que no dependa, por lo menos, en cierto grado de una o más de sus propiedades resistentes (Torricelli, 1941; Karsulovic y Navarrete, 1977; Perez, 1983).

Por otra parte, la madera proviene de organismos vivos, luego es un material orgánico, no homogéneo siendo sus componentes principales la celulosa, que es el material estructural de la célula y la lignina que es el material ligante entre las células (Bisso, 1982; Perez, 1983; Infor, 1991). Las células de la madera son huecas y se encuentra distribuidas tanto vertical como horizontalmente; esta estructura celular es en gran medida la responsable de la gran variabilidad de sus propiedades mecánicas aún considerando una misma especie de madera, según sea el sentido y característica de la sollicitación; este comportamiento de la madera se denomina **anisotropía** (Donoso et al., 1969; Bisso, 1982; Perez, 1983). Por ello al realizar un ensayo de resistencia mecánica se debe tomar en cuenta la dirección de las fibras del elemento de madera considerado, ya que su resistencia mecánica depende de ésta.

Cuando se aplica una carga sobre un cuerpo, se produce en éste una deformación que se incrementa si se incrementa la carga. También se incrementa el **esfuerzo normal**, que

corresponde a la carga que soporta un cuerpo por unidad de superficie (Bisso 1982; Perez 1983).

La relación entre la carga aplicada y la deformación producida se grafica en la fig.1, en ella se puede apreciar que la relación entre la carga y deformación es proporcional desde el inicio de aplicación de la carga hasta el límite elástico.

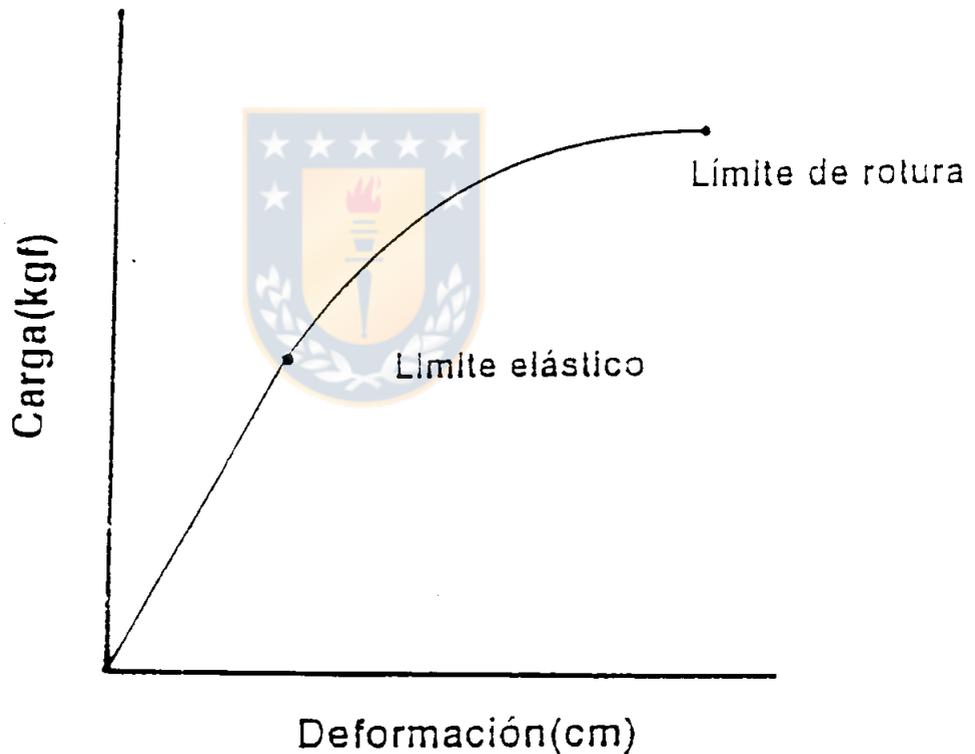


Figura 1. Curva de carga v/s deformación con zonas principales, según Perez, 1983.

Sobre este punto y hasta el límite de rotura el incremento de

la deformación deja de ser proporcional, es decir, es mayor que el incremento de la carga (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; Pérez, 1983).

En la práctica el límite elástico de un material se determina a partir del gráfico de carga-deformación.

Por otra parte, el esfuerzo necesario para solicitar un cuerpo hasta el límite elástico se conoce como **tensión en el límite de proporcionalidad**. Representa este límite la carga unitaria máxima a que puede ser sometido un material sin que se produzca deformación permanente (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; Bisso, 1982; Pérez, 1983).

Las deformaciones que se producen más allá del límite elástico no son recuperables en su totalidad. Dentro de este campo deben considerarse los conceptos de Rigidez y Elasticidad. **Rigidez** corresponde a la característica de un cuerpo que solicitado por cargas externas mantiene su tamaño y forma natural o resiste a la deformación (Bisso, 1982; Pérez, 1983).

Por el contrario **Elasticidad** es la característica de ciertos materiales sólidos, los cuales admiten deformaciones mientras permanezca la sollicitación externa (Díaz-Vaz, 1982).

La deformación de un cuerpo de largo L solicitado por un esfuerzo normal σ , se puede expresar dentro del campo elástico como :

$$\epsilon = DL / L = K @ ^n \quad (1)$$

donde ϵ es la deformación normal producida, k y n son constantes específicas para cada material. para la madera $n=1$, por lo que la expresión (1) queda indicando una proporcionalidad entre carga y deformación conocida como **ley de HOOKE**. (Diaz-Vaz y Cuevas, 1982).

$$\epsilon = DL / L = K @ ; \quad K = \epsilon / @ \quad (2)$$

Esta deformación explica la deformación elástica por unidad de longitud y por unidad de carga. El valor inverso de K es una constante de proporcionalidad, esta constante es denominada **Módulo de Elasticidad o Young** y comunmente se representa por la letra E , por lo tanto la expresión (2) puede ser expresada como :

$$1 / K = E ; \quad E = @ / \epsilon \quad (3)$$

El Módulo de elasticidad es la medida de la rigidez de un material, se calcula por la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud. Constituye un numero indicativo de rigidez y sólo se aplica a condiciones dentro de la zona elástica (Bisso, 1982; Perez 1983).

Bajo cargas estáticas, como las que actúan en la madera la mayoría de las veces en las vigas de un edificio, el trabajo absorbido en la flexión no constituye una característica importante, ya que lo que interesa es la rigidez (Torricelli, 1937). Por otra parte, cuando una viga de madera está sometida a flexiones bruscas y repentinas, de modo que la energía de la carga puede ser absorbida, la cantidad de trabajo desarrollado adquiere gran importancia para impedir serias fracturas. Si se sobrepasa el límite elástico, en una viga de madera sometida a una carga estática permanente, la viga con el tiempo fallará. Bajo una carga estática o lentamente progresiva, más allá del límite elástico, la madera flexible al astillarse progresivamente proporciona un aviso que le da mucha ventaja sobre la madera quebradiza que se rompe bruscamente. Por lo tanto, el conocimiento de las propiedades de la madera, más allá del límite elástico, es importantísimo para su correcto uso y es precisamente en esas propiedades en las que la madera flexible alcanza valores más

altos (Torriceli, 1937).

Ahora bien, como se mencionó anteriormente al aplicar una carga sobre un cuerpo, éste se deforma elásticamente, esto significa que, si la carga se elimina el cuerpo recupera su longitud original; se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica (Seely, 1954).

Según Ono (1973), citado por Valenzuela (1991), esta deformación plástica puede ser medida a través del Módulo de Plasticidad de Janka (Z), que corresponde a la razón entre las diferencias en las deformaciones producidas y las diferencias en las cargas aplicadas, en los puntos de tensión en el límite de proporcionalidad y límite de ruptura, como se muestra en la figura 2.

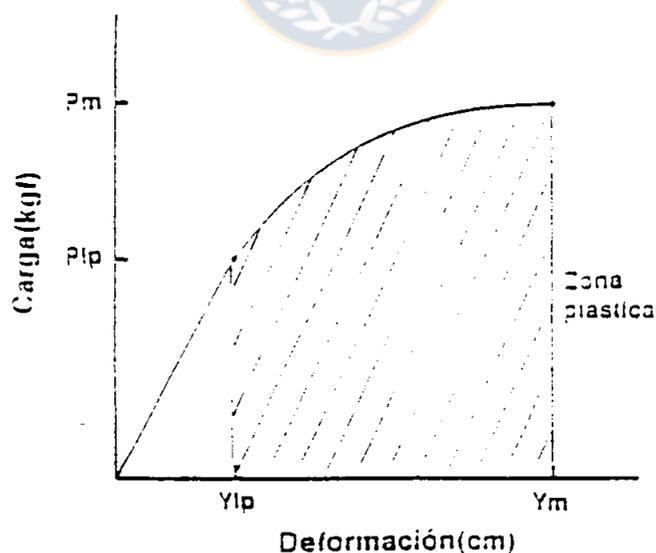


Figura 2. Zona plástica en la curva de carga v/s deformación.

El Módulo de plasticidad de Janka se expresa en cm kgf y queda definido por la siguiente expresión :

$$Z = (Y_m - Y_{lp}) / (P_m - P_{lp}) \quad (4)$$

Donde :

Y_{lp} : Deflexión producida en el límite de proporcionalidad
(cm)

Y_m : Deflexión producida en el límite de ruptura (cm)

P_{lp} : Carga aplicada en el límite de proporcionalidad (kgf)

P_m : Carga aplicada en el límite de ruptura (kgf)

2.1.2 Ensayos y normas utilizadas

2.1.2.1 Ensayos de propiedades mecánicas. El conocimiento de las propiedades mecánicas , se obtiene en gran medida por experimentos realizados en probetas bajo condiciones de laboratorio y también en piezas de tamaño real. En ambos casos, se requiere de estudios y procedimientos estandarizados que permitan la repetibilidad de los ensayos y la comparación de valores obtenidos entre distintas experiencias y maderas (Norambuena, 1967; Diaz-Vaz y Cuevas, 1982).

En los ensayos de laboratorio se emplea madera que este libre de nudos, ataque de patógenos, grietas y defectos en general. Las probetas son de dimensiones reducidas, lo que permite muchas veces obtener de una misma pieza de madera, probetas para distintos ensayos.

Los valores de resistencia mecánica de una misma especie pueden variar, pues ellos dependen de una serie de factores propios de la madera y propios de los ensayos. De entre los últimos, destaca el tipo de ensayo que se realiza y que está relacionado con la duración y forma de aplicación de la carga (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982). Así, según el tiempo de aplicación de la carga se diferencian los ensayos en dinámicos y estáticos, a fatiga y cargas intermitentes. Díaz-Vaz y Cuevas (1982), señalan que la duración de aplicación de la carga es inversamente proporcional a la resistencia de la pieza solicitada (figura 3). Por ello, una madera que debe soportar una carga ininterrumpida durante diez años resistirá sólo un 60 a 55 % de la carga que soportaría durante el tiempo de un ensayo normalizado, es decir, un par de minutos. Del mismo modo si un ensayo que deberá durar unos minutos se realiza sólo en un segundo, el valor de resistencia será aproximadamente un 20 % mayor que en el ensayo normal.

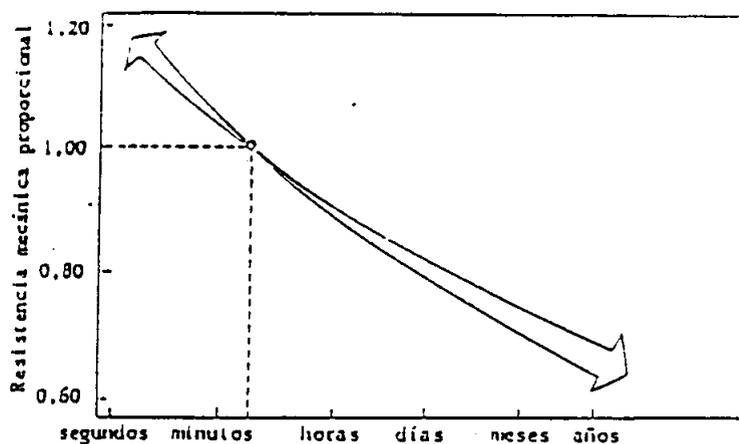


Figura 3. Efecto del tiempo en la resistencia mecánica de la madera. Según Diaz-Vaz y Cuevas, 1986.

En relación a la forma de aplicación de la carga se reconocen los siguientes tipos de ensayos :

Tracción :

Se tiene este tipo de ensayo cuando la carga es aplicada en una misma dirección pero con distinto sentido de manera que su acción tiende a alargar una dimensión del cuerpo.

Compresión :

Ensayo en que las cargas son aplicadas en una misma dirección, con sentido contrario de manera que su acción tiende a disminuir una dimensión del cuerpo.

Flexión :

Corresponde al ensayo en que las cargas son aplicadas en

medio de la luz de una viga apoyada en ambos extremos. La flecha producida es la deformación resultante de la carga aplicada.

Cizalle :

Para este tipo de ensayo se tiene cargas en sentido opuesto que por estar en planos diferentes, provocan el deslizamiento de una parte del cuerpo sobre la otra.

Clivaje :

La carga es aplicada de tal forma que tiende a separar el cuerpo en dos partes a modo de cuña.

Dureza :

Corresponde a la resistencia que opone, en este caso la madera, a la penetración de otro sólido mas duro que ella.

2.1.2.2 Normas Utilizadas. Los métodos de laboratorio, de acuerdo a la disciplina científica y a la necesidad de uniformar procedimientos, se han ajustado en los últimos años a ciertas pautas de ejecución que se denominan normas. Estas indican la metodología a seguir en los distintos tipos de ensayos a los que puede ser sometida la madera. Sin embargo, no se ha logrado establecer una norma única, ya que casi

paralelamente los países mas avanzados han normalizado sus procedimientos de ensayos en forma diferente (Norambuena, 1967).

Entre las normas mundialmente conocidas y que podemos mencionar se encuentran :

- a. AFNOR : Associati3n Francaise du Normalizati3n (Francia).
- b. BS : British Standard (Inglaterra).
- c. DIN : Deutsche Industrie Norm (Alemania).
- d. ASTM : American Society For Testing of Material (USA).

En Chile existen las normas chilenas, establecidas por el Instituto Nacional de Normalizaci3n (INN) y derivadas principalmente de las normas ASTM; ellas contienen por lo tanto, especificaciones similares a éstas para la realizaci3n de los distintos ensayos.

No obstante lo anterior, en la actualidad las diferencias en la metodología experimental son mínimas, subsistiendo unicamente la diferencia fundamental del tamaño de las probetas de ensayo (Norambuena, 1967).

2.1.3 Propiedades físicas asociadas

2.1.3.1 Contenido de humedad. La madera es un material higroscópico y por lo tanto tiene la capacidad y habilidad de

absorber o entregar agua según sean las condiciones de humedad y temperatura relativas del ambiente. Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable dependiendo del ambiente en que se encuentre (Perez, 1983; Infor, 1991).

Se entiende por contenido de humedad la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra (Perez, 1983; Infor, 1991).

La expresión mediante la cual se calcula el contenido de humedad es :

$$CH = ((PH / PS) - 1) * 100 \quad (5)$$



Donde :

PH = Peso de la pieza de madera con un contenido de humedad H, en gramos.

PS = Peso de la pieza de madera sin agua, es decir, en estado anhidra, en gramos.

CH = Contenido de humedad en %.

Cuando la madera se corta en el bosque, se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua (savia). Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega

al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades, hasta alcanzar un punto denominado como **"punto de saturación de la fibra"**, que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado toda el agua libre y las paredes celulares permanecen saturadas (Perez, 1983). El contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras depende de diversos factores y varía para las diferentes especies. Sin embargo, se acepta un 28 % como promedio para la madera en general. Por debajo del punto de saturación de las fibras y al continuar el proceso de evaporación, la madera cede el agua de sus paredes celulares, hasta alcanzar un punto en el cual el proceso se detiene. Este punto se conoce como **"humedad de equilibrio de la madera"** y depende fundamentalmente de la especie, temperatura y humedad relativa del ambiente en el cual se estaciona la madera.

Cuando la madera pierde agua bajo el punto de saturación de la fibra, las paredes de la célula se compactan cada vez más. Debido a ello, las fibras se ponen mas rígidas y fuertes, resultando de lo anterior que una pérdida en el contenido de humedad; bajo el punto de saturación de la fibra, va acompañada de un incremento en su resistencia mecánica, como se muestra en la tabla 1.

Por sobre el punto de saturación de la fibra un aumento del contenido de humedad no tiene efecto sobre su resistencia

mecánica (Díaz-Vaz y Cuevas 1982; Pérez, 1983).

Tabla 1. Incremento promedio de las distintas propiedades mecánicas afectadas por cada 1 % de disminución del contenido de humedad.

Propiedad mecánica afectada	Porcentaje de aumento (%)
Flexión estática : - Tensión en el límite de proporcionalidad. - Módulo de Rotura - Módulo de Elásticidad	5,0 4,0 2,0
Compresión paralela : - Tensión en el límite de proporcionalidad - Tensión Máxima	5,0 6,0
Dureza : - Paralela a las fibras - Normal a las fibras	4,0 2,5
Cizalle Paralelo : - Tensión Máxima	3,0

Fuente : Torres, 1973 (Corma).

Debido a estas variaciones de la resistencia, en relación al contenido de humedad, las determinaciones de las propiedades mecánicas se efectúan en dos estados de humedad de la madera, a saber:

1. En Estado Verde, es decir, en madera con contenidos de humedad superior al punto de saturación de las fibras, cualquiera sean tales valores.
2. Estado Seco al aire. En este caso se ha escogido un valor

del contenido de humedad de 12%, el cual es universalmente aceptado.

Si el ensayo en estado seco se realiza con madera a un contenido de humedad distinto, el valor de la resistencia que se obtiene debe ser corregido a un 12 % mediante fórmulas o expresiones convenientes; como las entregadas por el Wood Handbook (1955).

2.1.3.2 Densidad. La densidad de un cuerpo es el cociente formado por la masa y su volumen. La madera, por ser higroscópica, presenta aspectos aún más complejos. Debido a que tanto la masa como el volumen de una pieza varían con el contenido de humedad, es importante expresar la condición bajo la cual la densidad es obtenida (Infor, 1991).

De acuerdo a la NCh 176/2 es posible definir :

- i. Densidad anhidra : Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra.

- 2i. Densidad aparente : Es la que relaciona la masa y el volumen a un mismo contenido de humedad.

- 3i. Densidad básica : Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad del 30%.

- 4i. Densidad nominal : Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad igual a 12%.
- 5i. Densidad normal : Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera, ambos determinados a un contenido de humedad del 12%.

Las diferencias de composición de la madera entre especies y dentro de ellas, es la primera causa de variación de la densidad. Una proporción variable pero importante del volumen de una pieza de madera está compuesta por espacios o huecos que corresponden a las cavidades celulares o porosas; la variación en el tamaño de los poros y espesor de la pared celular hacen que algunas especies tengan más madera que otras y por lo tanto mayor densidad. Es necesario hacer notar además que la densidad de la madera varía aun dentro del mismo árbol, ya sea por crecimientos en suelos diferentes, climas distintos, etc. (Perez, 1983).

Kollmann (1959), citado por Spuler (1973) indica que existe una relación directa entre la densidad y las propiedades mecánicas. Leicester y Keating (1981), citado por Perez (1987), han relacionado la densidad y el módulo de rotura de 30 especies madereras, en estado seco, encontrándose una alta

correlación entre estas dos variables.

2.2 Antecedentes de las especies estudiadas

2.2.1 Antecedentes taxonómicos. Según Krüssman (1985), citado por Rodríguez y Rodríguez (1994), las especies estudiadas se ordenan taxonómicamente como sigue.

División : Gimnospermae

Clase : Coniferopsida

Orden : Coniferales

Familia : Cupressaceae

Género : Cupressus

Especie : Cupressus macrocarpa Hartw.

Género : Chamaecyparis

Especie : Chamaecyparis lawsoniana (A murr.) Parl

Familia : Pinaceae

Género : Pinus

Especie : Pinus strobus L.

2.2.2 Descripción de las especies estudiadas.

2.2.2.1 Cupressus macrocarpa Hartw.

Características específicas. Arbol de gran porte, copa anchamente piramidal, tronco amenudo con contrafuertes basales, corteza gris oscura, ramas laterales muy largas con hojas oblicuamente ascendentes, follaje verde oscuro con olor a Citronella. Hojas escamiformes, rómbico aovados, engrosados en el ápice, algo mayores de 1 mm. de largo conos subglobosos u ovoides, castaño claro; de 2 a 2,5 cm. de diametro, compuesto de 8 a 14 escamas provistas de unas cortas apófisis, con unas 20 semillas bajo cada una (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Area de distribución natural. Su area de distribución natural se limita a la península de Monterrey en California y a la isla de Guadalupe en la costa de baja California, dentro de un rango en el cual es quizás la más restrictiva de todas las coníferas crecidas en Norteamérica (Streets, 1962).

Exigencias edafoclimáticas. Se adapta a distintos tipos de suelos, prefiere suelos de textura media, profundos frescos con un subsuelo permeable. En los suelos sueltos las plantas

se inclinan con facilidad despues de la lluvia y o vientos fuertes. Soportan el frio y la sequia (Rodriguez y Rodriguez, 1994).

Características ecológicas. Es una especie intolerable a la luz. Posee excelente regeneración natural. Es una especie muy indicada para el control de erosión y estabilidad de dunas. Muy indicada para construcción de cortavientos y setos vivos (Rodriguez y Rodriguez, 1994).

Características y usos de la madera. La madera es medianamente densa de grano fino, aromática y muy durable (Streets, 1962), no es muy utilizada en Norteamérica debido a la abundancia de nudos, pero cuando ésta es libre de nudos puede ser utilizada en una amplia variedad de propósitos tales como construcción de barcos, muebles, ebanistería y otra serie de usos relacionados con el revestimiento de exteriores (Forest Industries Review, 1979).

2.2.2.2 Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl.

Características específicas. Arbol de porte piramidal, corteza castaño rojiza, ramitas aplanadas, dispuestas en planos horizontales. Hojas escamiformes, agudas y subagudas,

glandulosas con marcas o líneas blanquecinas en el envés, las laterales notablemente más largas que las faciales. Conos globosos, menores de 1 cm. de diámetro, castaño rojizo, glaucos, compuestos de 8 escamas, provistas de 1 mucrón agudo, conteniendo 2 a 5 semillas cada una, Rodríguez y Rodríguez (1994).

Area de distribución natural. Se distribuye en forma natural en Norteamérica, a lo largo de la costa del Pacífico en el Estado de California (Wood Handbook, 1987).

Exigencias edafoclimáticas. Prefiere terrenos frescos, profundos fértiles. Los arcillosos no le convienen. Apropiado para lugares fríos y templados. Es muy sensible a la sequía (Rodríguez y Rodríguez 1994).

Características ecológicas. Es una especie tolerante a la sombra, se regenera naturalmente cuando el piso del bosque está removido y penetra luz solar Rodríguez y Rodríguez (1994).

Características y usos de la madera. El duramen le da a la madera un color café amarillento, es de fina textura, generalmente de fibra recta y agradable fragancia, es

moderadamente liviana en peso, dura, moderadamente firme y fuerte, moderadamente resistente al golpe y resistente a la pudrición. Se emplea en construcciones, casas, embarcaciones, postes, puertas, asientos de estadios, revestimientos de interior, etc. (Wood Handbook, 1987).

2.2.2.3 Pinus strobus L.

Características específicas. Arbol de hojas en número de 5 por braquiblasto, laxas, verde claras a amarillentas, bordes finamente aserrados en ambos lados, de 7 a 14 cm. de largo; bandas estomáticas en el envés; dos canales resiníferos medianos. Ramillas glabras (ocasionalmente pubescentes), surcadas, verdes. Vainas de 3 mm de largo, café claras a amarillentas. Yemas de 1,5 cm de largo, cilíndricas, terminadas en punta, escamosas, café no resinosas. Conos femeninos de 13 a 15 cm de largo, cilíndricos, algo curvos pedunculados; apófisis plana con una pequeña protuberancia central, ápice de la escama terminando en punta, no existe umbo ni mucrón. Semillas de 0,5 cm de largo, alas de 1,5 cm de largo Rodríguez y Rodríguez (1981).

Bajo condiciones favorables de crecimiento puede llegar a alcanzar los 45 metros de altura y 1,5 metros de diámetro, pero en promedio alcanza 30 metros de altura y 70 cm. de

diámetro (Wood Handbook, 1955).

Area de distribución natural. Es originario de Estados Unidos de Norteamérica, se encuentra en el Norte de Georgia, en los Lagos de Iowa, Illinois, Indiana y a lo largo de los montes Apalaches (Wood Handbook, 1955).

Características y usos de la madera. La madera es de color blanco amarillento, liviana en peso, moderadamente suave, de baja resistencia mecánica y poca resistencia al golpe. Prácticamente toda la madera se comercializa como aserrada, lo cual indica una gran variedad de usos. La madera muy nudosa (de baja calidad) es utilizada en contenedores y embalajes, mientras que la de alta calidad se utiliza en molduras. Otros usos importantes son para bastidores, puertas, muebles, ataúdes y paneles (Wood Handbook, 1987).

2.3 Antecedentes de la Reserva Nacional de Malleco.

La reserva forestal de Malleco esta ubicada en la Cordillera de los Andes a 38° de latitud Sur y a 71° 50' de longitud Oeste en la provincia de Malleco, IX región.

El relieve que presenta es montañoso, con alturas que

fluctúan entre los 850 y los 1830 metros.

La precipitación en el area es alta, llegando casi a 2000 mm. repartida de tal manera que todos los meses son húmedos, no presentando periodos de aridez.

La vida vegetal se ve limitada por las bajas temperaturas invernales y las altas oscilaciones térmicas que son consecuencia de la altitud. estos dos factores reducen los meses favorables del año a solo cinco. El promedio anual de temperatura es de 8,6°, con una media del mes más cálido de 15,1°C y una media del mes más frío de sólo 1,9°C.

La vegetación es de naturaleza Mesofita - Higrofita y la masa arborea esta formada por especies tales como Araucaria, Coigue, Raulí y Roble (Conaf, 1982).

Los suelos son derivados de material volcánico y varían de superficial hasta profundo, ligeramente ácido, variable y granular. (Wadsworth, 1973).

2.4 Antecedentes de las parcelas experimentales.

2.4.1 Suelos. De acuerdo a un estudio realizado por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción (1993), los suelos que ocupan las especies en estudios se describen de la siguiente forma :

Geomorfología : Terraza aluvial reciente.

Material generador : Rocas y arenas andesíticas y basálticas.

Descripción Física y Morfológica del perfil

0 - 6 cm : Color 10YR 2/1 en húmedo (negro); textura areno francoso; estructura de grano simple; no plástico ni adhesivo; abundancia de raíces y raicillas; límite inferior lineal.

6 - 22 cm : Color 10YR 2/1 en húmedo (negro); textura areno francoso; estructura de grano simple; no plástico ni adhesivo; raíces y raicillas abundantes; límite inferior difuso, mezclado con grava y rocas redondeadas.

Observaciones :

Suelo depositacional que tiene las siguientes limitantes : profundidad y textura extrema. El bosque que creció se consideró excelente dadas las precarias características del suelo. Se estimó de gran importancia la influencia benéfica del clima y del régimen hídrico del suelo que está influenciada por el estero que lo originó. De acuerdo con estas características, se clasificó en Clase VII 2 s. de capacidad de uso.

2.4.2. Información dasométrica básica. El rodal en el cual se presentan estas especies tiene una superficie de 4,2 hectáreas y la edad aproximada del bosque es de 60 años. En la tabla 2 se presenta información dasométrica básica que corresponden a un censo realizado en el área de estudio por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.

Tabla 2. Información dasométrica básica.

Especie	D.A.P. (cm)	Altura (m)	Nº árb. totales	A.basal total(m2)
Cupressus macrocarpa	60,0	23,2	665	231,5
Chamaecyparis lawsoniana	50,5	22,2	49	11,3
Pinus strobis	58,0	29,4	24	7,0

Fuente : Facultad de Ciencias Forestales , U. de Concepción.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Material

El material utilizado provino de las parcelas experimentales establecidas en el sector de los Guindos, en la Reserva Nacional de Malleco.

3.2 Metodología general

Las propiedades mecánicas fueron determinadas según las prescripciones establecidas en las Normas chilenas , las cuales están basadas en la norma americana ASTM, ello por que representan el mayor volumen de antecedentes determinados en el país lo que facilita el establecimiento de comparaciones. A continuación se presentan los ensayos de propiedades mecánicas efectuados y las respectivas normas utilizadas.

Tabla 3. Ensayos realizados y normas utilizadas.

Ensayo	Nº de Norma Chilena
Flexión estática.	987.c72
Compresión paralela a la fibra.	973.c72
Cizalle radial y tangencial.	976.c72
Dureza normal y paralela.	978.c72

3.2.1 Número de árboles seleccionados. Considerando las restricciones respecto al material disponible, se seleccionaron tres árboles por especie, adoptando un procedimiento similar al utilizado por el Instituto Forestal (Infor, 1982).

3.2.2 Selección de individuos. Debido a las características del rodal, La selección se realizó en base a líneas de muestreo de 50 metros de largo, se midió el DAP de todos los individuos de una misma especie, para luego confeccionar tablas de rodal y seleccionar los tres árboles más cercanos a las clases diamétricas centrales (tabla 6). Cabe considerar que fueron desechados en la selección aquellos individuos que presentaban malformaciones o defectos.

Tabla 4. Dap de los árboles seleccionados.

Espece	Arbol Nº	DAP (cm)
<u>Pinus strobus</u>	1	64
	2	70
	3	78
<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	1	47
	2	57
	3	64
<u>Cupressus macrocarpa</u>	1	65
	2	70
	3	78

3.2.3 Obtención y marcación de trozas de cada árbol. Una vez seleccionados los árboles a utilizar se procedió a voltearlos para luego obtener de cada individuo, trozas de 1,2 y 1,3 metros de largo. Dos trozas fueron cortadas a 4,2 metros de la base del árbol y otras dos a 10,65 metros de esta base.

Las trozas obtenidas fueron marcadas para su identificación con una clave que indicaba la especie y el número de troza, correlativo para la especie.

Las trozas debidamente identificadas quedaron a cargo de la Corporación Nacional Forestal, la cual se encargó de trasladarlas hasta la Universidad del Bio-Bio, para ser procesadas.

3.2.4 Obtención de viguetas y probetas. El proceso implicó los siguientes pasos :

1) Dibujar en la sección transversal de las trozas una cruceta de 8,0 cm de ancho cuyo centro coincida con la médula de la troza abarcando de corteza a corteza. Considerando que la finalidad era conseguir probetas libres de defectos se eliminaron aquellas posibles ubicaciones en las cuales se encontraban ramas, nudos, madera de compresión, etc.

2) Cuadrar levemente las trozas en la sierra circular.

3) Obtener semipeinetas de 8,0 cm de espesor en la sierra huincha.

4) Obtener viguetas de 8,0 cm de ancho y 8,0 cm de espesor en la sierra huincha.

5) Separar en cada especie la mitad de la madera en forma aleatoria, para realizar ensayos en verde y en seco.

6) Las viguetas que fueron seleccionadas para ensayos en estado verde fueron sumergidas en agua hasta el momento del ensayo.

Las viguetas destinadas a ensayos en seco fueron encastilladas y sus extremos pintados a fin de prevenir daños por agrietamiento.

7) Una vez que las viguetas se encontraron saturadas fueron procesadas, obteniéndose la probetas según las dimensiones que fija la norma para cada ensayo en estado verde.

Para los ensayos en seco, en una primera etapa las probetas fueron cortadas con una sobre dimensión de 3 mm en cada una de sus caras. Se introdujeron luego en una cámara

climatizadora calibrada previamente para obtener una humedad de equilibrio de 12%. Una vez en estas condiciones las probetas fueron cepilladas dejándolas en las dimensiones que fija la norma.

A continuación (fig. 4) se presenta un esquema respecto al procedimiento descrito anteriormente.

Figura 4. Diagrama de obtención de probetas para los ensayos mecánicos.



3.3 Equipos empleados

Los ensayos de las propiedades mecánicas de flexión y compresión se realizaron en una máquina de tipo universal, marca INSTRON, cuya capacidad máxima es de 5000 kg.

Los ensayos de cizalle y dureza se realizaron en una máquina también de tipo universal, hidráulica, marca RIEHLE, modelo KA-120 la cual está equipada para ejercer una carga máxima de 60000 kg.

Para obtener un 12 % en el contenido de humedad de la madera se utilizó una cámara climatizadora .

Para la determinación volumétrica se utilizó un pie de metro con una precisión de 0.05 mm.

Para lograr los pesos anhidros de las probetas de densidad se utilizó una estufa con circulación de aire marca HERAEUS, que trabaja con rangos de temperatura entre la ambiental y 350 °c, con una precisión de 2 °c. La determinación de masas se realizó en una balanza eléctrica marca SHIMADZU tipo Libror EB - 6205 "METTER" de una precisión de 0.01 gr.

3.4 Determinación de densidades

Una vez terminado cada ensayo , se procedió en el menor tiempo posible a cortar de cada probeta ensayada, un trozo de 2*2*2 cm. Estas probetas fueron pesadas con una precisión de 0,01 gr y medidas en dirección tangencial, radial y longitudinal con una precisión de 0,05 mm. Estas tres medidas fueron realizadas con tres repeticiones cada una de las cuales se obtuvo un promedio.

La determinación del peso, así como su volumen, fueron realizadas con el contenido de humedad del ensayo, y luego de haber logrado, las características anhidras.

Con estos valores se procedió a calcular la densidad básica, aparente, anhidra, nominal y normal.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se entregan los resultados obtenidos de los ensayos de propiedades mecánicas realizados; las especies en estudio se identifican con la siguiente simbología :

Chamaecyparis lawsoniana (A Murr.) : Chl

Cupressus macrocarpa Gord. : Cm

Pinus strobus L. : Ps

En las tablas 5 y 6 se presentan los valores promedio obtenidos en estado verde y seco, para cada uno de los ensayos mecánicos y propiedades físicas determinadas .

Estos resultados son analizados y discutidos considerando lo siguiente :

- Comportamiento mecánico de las especies en estudio.
- Efecto del contenido de humedad en la resistencia.
- Comparación con valores obtenidos en otros estudios.

4.1 Resumen de resultados

Tabla 5. Valores promedio de los ensayos mecánicos en estado verde.

Ensayo o propiedad	Simbología	Unidad	Cm	Chl	Ps
Flexión estática					
Módulo plástico	Z	cm/kgf	0,012	0,015	0,024
Módulo Elasticidad	Moe	kgf/cm ²	64524,26	81375,50	49772,47
Módulo Ruptura	Mor	kgf/cm ²	503,98	479,63	324,25
Tensión Lim. Propor.	Tl _{pf}	kgf/cm ²	326,72	284,72	204,48
Compresión paralela					
Tensión de Rotura	Tr	kgf/cm ²	228,87	216,96	179,51
Tensión Lim. Propor.	Tl _{pc}	kgf/cm ²	125,79	123,57	101,29
Cizalle					
T. Rotura Tangencial	Tr _t	kgf/cm ²	73,45	57,81	48,62
T. Rotura Radial	Tr _r	kgf/cm ²	59,15	62,48	44,73
Dureza (Janka)					
Resistencia Paralela	Dp	kgf	310,42	303,67	192,25
Resistencia Normal	Dn	kgf	207,68	229,22	127,25
Propiedad física					
C. de Humedad	Ch	%	158,09	150,85	199,93
Densidad Básica	db	kg/cm ³	0,353	0,371	0,288
Densidad Anhidra	dn	kg/cm ³	0,389	0,412	0,311
Densidad Aparente	da	kg/cm ³	0,912	0,914	0,362

Tabla 6. Valores promedio de los ensayos mecánicos al 12% de humedad (estado seco).

Ensayo o propiedad	Simbología	Unidad	Cm	Chl	Ps
Flexión estática					
Módulo plástico	Z	cm/kgf	0,0075	0,0079	0,0079
Módulo Elasticidad	Moe	kgf/cm ²	78274,34	86796,48	61883,84
Módulo Ruptura	Mor	kgf/cm ²	772,81	728,20	702,63
Tensión Lim. Propor.	Tlpf	kgf/cm ²	382,06	364,57	390,71
Compresión paralela					
Tensión de Rotura	Tr	kgf/cm ²	315,65	355,43	249,43
Tensión Lim. Propor.	Tlpc	kgf/cm ²	143,68	133,23	123,23
Cizalle					
T. Rotura Tangencial	Trt	kgf/cm ²	93,23	102,92	67,51
T. Rotura Radial	Trr	kgf/cm ²	85,24	101,16	63,10
Dureza (Janka)					
Resistencia Paralela	Dp	kgf	442,08	520,71	241,52
Resistencia Normal	Dn	kgf	250,41	426,78	153,34
Propiedad física					
C. de Humedad	Ch	%	12,33	11,97	12,08
Densidad Nominal	db	kg/cm ³	0,395	0,399	0,307
Densidad Anhidra	dn	kg/cm ³	0,403	0,414	0,321
Densidad Normal	da	kg/cm ³	0,433	0,441	0,344

4.2 Comportamiento Mecánico

4.2.1 Comportamiento mecánico de las especies en estudio

4.2.1.1 Flexión estática en estado verde. En estado verde, Ps es la especie que presenta la menor resistencia a la flexión estática, alcanzando como valor promedio 204,5 kgf/cm² de tensión en el límite de proporcionalidad (Tl_{pf}) y 324,2 kgf/cm² en el módulo de ruptura (Mor). En la tabla 7 se comparan dichos valores resultando de ello que Cm es la especie más resistente.

Tabla 7. Comparación de los valores medios obtenidos en flexión estática en estado verde.

Especie		Cm		Chl		Ps	
Parámetro	Unidad	Media	%	Media	%	Media	%
Tl _{pf}	kgf/cm ²	326,7	115	284,7	100	204,5	72
Mor	kgf/cm ²	503,9	105	479,6	100	324,2	68
Moe	kgf/cm ²	64524,3	79	81375,5	100	49772,5	61
Z	cm/kgf	0,012	80	0,015	100	0,024	160

En la figura 5 se muestran las curvas promedio de carga vs deflección para las tres especies estudiadas en estado verde. De esta figura se puede apreciar la pendiente hasta el límite proporcional que representa la rigidez de la madera. Así tenemos que Chl es la que presenta la mayor rigidez mientras

que Ps es la menos rígida de las tres especies ello concuerda con los valores obtenidos para el módulo de elasticidad (Moe), siendo Chl en promedio un 21 % y 39 % mayor a Cm y Ps respectivamente.

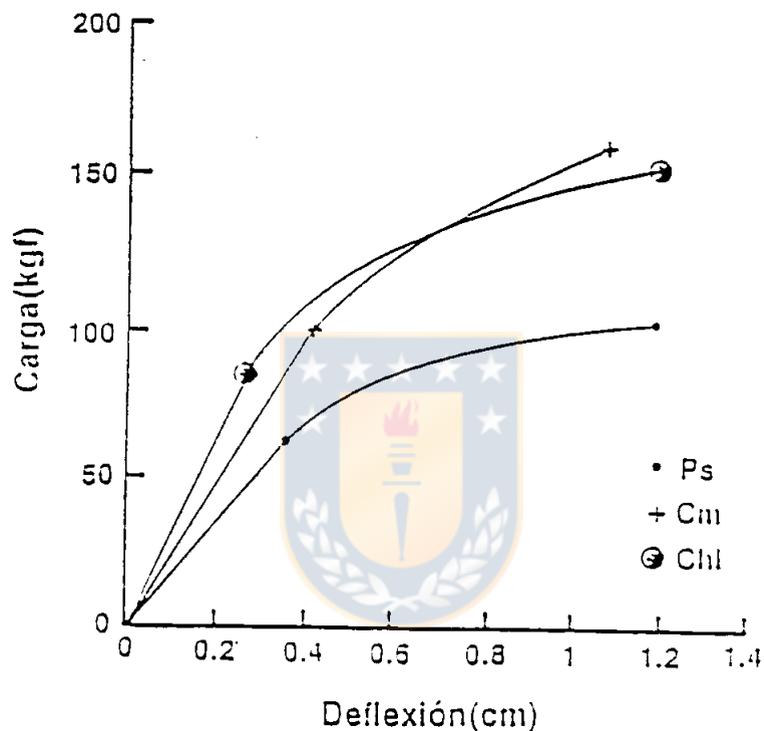


Fig 5. Curvas promedio de carga vs deflexión en flexión estática en estado verde.

Como se observa en la figura 5, más allá del límite elástico y a iguales incrementos de carga, la especie que acepta una mayor deformación es Ps, por ello el valor del módulo de plasticidad de Janka (Z) en Ps alcanza los 0,023 cm/kgf (tabla 7), siendo el más alto de las tres especies.

4.2.1.2 Flexión estática en estado seco. Como se aprecia en la tabla 8 y a diferencia de los resultados obtenidos en estado verde, las tres especies presentan un comportamiento mecánico muy similar en términos de resistencia y plasticidad.

Tabla 8. Comparación de los valores medios obtenidos en flexión estática en estado seco.

Especie		Cm		Chl		Ps	
Parámetro	Unidad	Media	%	Media	%	Media	%
Tlpf	kgf/cm ²	382,1	105	364,6	100	390,7	107
Mor	kgf/cm ²	772,8	106	728,2	100	702,6	96
Moe	kgf/cm ²	78274,3	90	86796,5	100	61883,8	71
Z	cm/kgf	0,0075	95	0,0079	100	0,0079	100

En relación a la rigidez, El Moe de Chl alcanzó un valor de 86796,5 kgf/cm² siendo el más alto, por su parte Ps obtuvo un Moe más bajo con 61883,8 kgf/cm² el cual es un 29 % menor que Chl.

De todas formas, y como se puede observar en la figura 6, existen menores diferencias en la rigidez de éstas especies en estado seco que en estado verde.

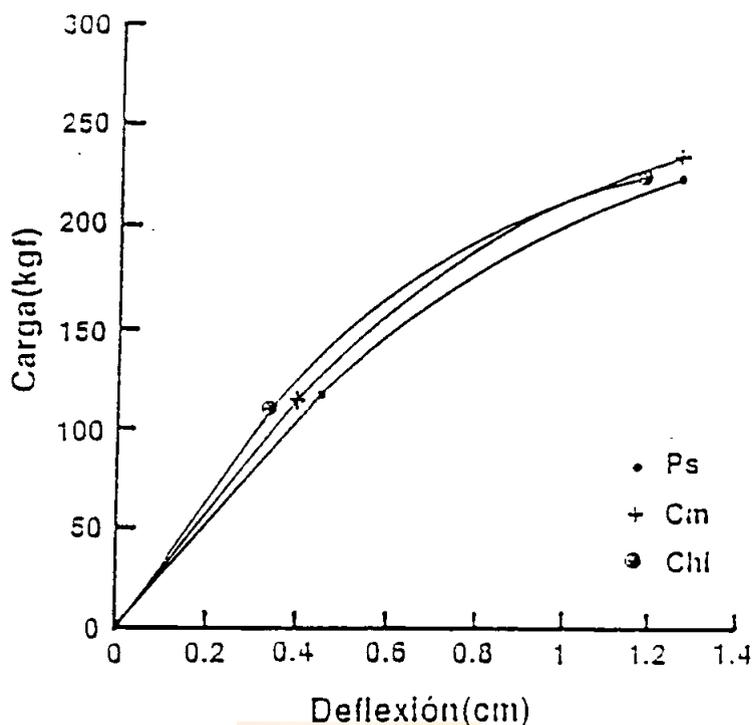


Fig 6. Curvas promedio de carga vs deflexión en flexión estática en estado seco.

4.2.1.3 Compresión paralela en estado verde y seco. De las tres especies estudiadas bajo esta sollicitación, Ps registra la menor resistencia en los dos estados.

En estado verde la tensión al límite de proporcionalidad (Tlp) en Chl alcanzó un valor 123,6 kgf/cm² siendo muy similar a Cm, mientras que en Ps este valor fué un 18 % menor a Chl (tabla 9).

Por otra parte en estado seco las diferencias más notables se observan en la Tr, donde Chl es mayor en un 11 y 30 % a Cm y Ps respectivamente.

Tabla 9. Comparación de los valores medios obtenidos en compresión paralela en estado verde y seco.

Estado	Especie		Cm		Chi		Ps	
	Parámet.	Unidad	Media	%	Media	%	Media	%
Verde	Tr	kgf/cm ²	228,9	105	216,9	100	179,5	83
	Tlp	kgf/cm ²	125,8	102	123,6	100	101,3	82
Seco	Tr	kgf/cm ²	315,6	89	355,4	100	249,4	70
	Tlp	kgf/cm ²	143,7	108	133,2	100	123,2	92

4.2.1.4 Cizalle radial y tangencial en estado verde y seco.

Como se aprecia en los resultados mostrados en la tabla 10, en estado Verde y seco Ps presenta la menor resistencia al cizalle.

Tabla 10. Comparación de los valores medios obtenidos en cizalle radial y tangencial en estado verde y seco.

Estado	Especie		Cm		Chi		Ps	
	Parámet.	Unidad	Media	%	Media	%	Media	%
Seco	Trr	kgf/cm ²	93,2	90	102,9	100	67,5	66
	Trt	kgf/cm ²	85,2	84	101,2	100	63,1	62
Verde	Trr	kgf/cm ²	73,4	127	57,9	100	48,6	84
	Trt	kgf/cm ²	59,1	95	62,5	100	44,7	72

Por otra parte, los valores de tensión de rotura radial (trr) y tangencial (trt) son relativamente homogéneos para cada especie, presentando las mayores diferencias Cm en estado seco, la cual alcanza una tensión de rotura tangencial (Trt) de 59,1 kgf/cm² y en sentido radial (trr) 73,4 kgf/cm².

4.2.1.5 Dureza normal y paralela en estado verde y seco.

Independiente del estado y el sentido de la sollicitación realizada, de las tres especies estudiadas Ps muestra los valores más bajos de resistencia a la dureza (tabla 11).

En estado verde Cm y Chl presentan valores cercanos mientras que en estado seco las diferencias son más notables, Chl alcanza un valor promedio de 426,8 kgf y Cm 250,4 kgf.

Tabla 11. Comparación de los valores medios obtenidos en dureza normal y paralela en estado verde y seco.

Estado	Especie		Cm		Chl		Ps	
	Paramet.	Unidad	Media	%	Media	%	Media	%
Verde	DP	kgf	310,4	102	303,7	100	192,2	63
	Dn	kgf	207,7	91	229,2	100	127,2	55
Seco	Dp	kgf	442,1	85	520,7	100	241,5	46
	Dn	kgf	250,4	59	426,8	100	153,3	36

los valores de resistencia a la dureza paralela (Dp) son muy superiores a los de resistencia normal (Dn), cabe destacar los valores alcanzados por Cm en estado seco donde Dp es superior en un 44% a la Dn.

4.3 Efecto del contenido de humedad en el comportamiento mecánico.

En la tabla 12 se comparan los valores medios de resistencia obtenidos en los distintos ensayos realizados. Al disminuir el contenido de humedad al 12% se observa un notable aumento en las propiedades resistentes de la madera para las tres especies en estudio.

En flexión estática, la especie que presenta las mayores variaciones en su resistencia es Ps, al aumentar su Tlp y Mor en un 91% y 117% respectivamente.

Con el secado de la madera Cm y Ps aumentaron los valores de rigidez en un 18% y 20% respectivamente, Chl no mostró variaciones sustantivas.

En compresión paralela los valores de Tr y Tlpc tuvieron sus mayores variaciones en Chl y Ps respectivamente, Chl mostró un aumento del 64% en la tensión de rotura mientras que la variación en el Tlpc de Ps fué del 21% .

Tabla 12. Comparación de los valores medios de resistencia en base al contenido de humedad.

Ensayo	Cm		Chl		Ps	
	Verde %	Seco %	Verde %	Seco %	Verde %	Seco %
Flexión estática						
Mor	100	153	100	152	100	217
Tlpf	100	105	100	128	100	191
Compresión p.						
Tr	100	138	100	164	100	140
Tlpc	100	114	100	108	100	121
Cizalle						
Trt	100	120	100	178	100	139
Trr	100	144	100	162	100	141
Dureza						
Dp	100	142	100	171	100	125
Dn	100	120	100	186	100	121
Promedio	100	129	100	156	100	149

Respecto a la resistencia al cizalle, la especie que presenta mayor variación en sus valores es Chl, mostrando una variación positiva del 78% en sentido tangencial y del 62% en sentido radial.

En los valores de dureza normal y paralela al igual que en el ensayo de cizalle, Chl es la especie en estudio que presentó las mayores variaciones, alcanzando Dp una variación positiva del 71% mientras que Dn subió en un 86% .

4.4 Comparación con valores obtenidos en otros estudios.

Se comparan los valores de éste estudio con los entregados por el Wood Handbook, 1987 para Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl. y Pinus strobus L. creciendo en su lugar de origen. En el caso de Cupressus macrocarpa Hartw. se compara con valores entregados por el Forest Industries review, 1979 de Nueva zelandia; cabe hacer notar que no existen referencias respecto a la edad de los individuos estudiados por lo que dichas comparaciones deben ser tomadas con reserva.

4.4.1 Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl.

En estado verde las mayores diferencias se presentan en dureza normal, tal como se muestra en el apéndice 1B, los valores de este estudio son un 33% mayor a los encontrados en su lugar de origen.

En estado seco (apéndice 2B), los valores de esta especie creciendo en su lugar de origen para flexión y compresión son alrededor de un 20% más altos que los determinados en este estudio, lo contrario sucede con el valor de dureza normal el cual es un 50% superior al encontrado en su lugar de origen. La densidad básica presenta valores levemente superiores en su lugar de origen.

4.4.2 Pinus strobus L.

En estado verde las mayores diferencias se registran en la rigidez, como se aprecia en el apéndice 3B, el módulo de elasticidad en flexión de este estudio es alrededor de un 30% menor al encontrado en su lugar de origen, en el resto de las sollicitaciones se observan valores muy similares.

En estado seco las mayores diferencias se presentan en flexión estática, por un lado los valores de éste estudio para el módulo de elasticidad son menores en un 30% mientras que los valores del módulo de ruptura son mayores en un 16%, como se muestra en el apéndice 4B, las demás sollicitaciones presentan valores similares.

4.4.3 Cupressus macrocarpa Hartw.

En estado verde y seco se presentan valores similares en flexión, no ocurre lo mismo al comparar los valores de compresión paralela En el apéndice 5B, se pueden observar los valores de tensión máxima de rotura, los cuales en estado verde y seco son menores en un 21% y 25% respectivamente a los encontrados para esta especie creciendo en Nueva Zelanda.

V. CONCLUSIONES

En estado verde, Chamaecyparis lawsoniana y Cupressus macrocarpa registran valores de resistencia muy similares en todos los ensayos realizados, en cambio Pinus strobus presenta valores en promedio un 30% más bajos.

En sollicitaciones de flexión, Pinus strobus resultó ser la especie de mayor plasticidad mientras que Chamaecyparis lawsoniana es la especie más rígida.

En estado seco, los valores de resistencia obtenidos en flexión son muy similares entre las especies madereras en estudio, mientras que para las sollicitaciones de compresión, cizalle y dureza, Chamaecyparis lawsoniana y Pinus strobus son las especies de mayor y menor resistencia respectivamente.

En Flexión Chamaecyparis lawsoniana es la más rígida, mientras que las tres especies presentan similar plasticidad.

Con la disminución del contenido de humedad de la madera al 12%, Chamaecyparis lawsoniana aumentó los valores de resistencia, en promedio, un 56%, mientras que Cupressus macrocarpa y Pinus strobus lo hicieron en un 29% y 49%

respectivamente, en todos los ensayos realizados.

Chamaecyparis lawsoniana y Pinus strobus presenta valores promedio muy similares a los obtenidos en su lugar de origen tanto en estado verde como seco.

Por su parte Cupressus macrocarpa presenta valores de flexión y compresión que en promedio son levemente más bajos que los encontrados para esta especie en Nueva Zelanda.



VI. RESUMEN

Se ha efectuado determinación de propiedades mecánicas de la madera en estado verde y seco (12% C.H), de las especies Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl (Chl) , Cupressus macrocarpa Hartw (Cm) y Pinus strobus L. (Ps) procedentes de la Reserva Nacional de Malleco.

Las mediciones realizadas corresponden a esfuerzos de compresión paralela a las fibras, flexión estática, cizalle y dureza (Janka) ; para ello se siguió en lo fundamental las prescripciones establecidas en las Normas Chilenas relativas a ensayos mecánicos.

De las tres especies estudiadas, Ps presenta en promedio los más bajos valores de resistencia mecánica, mientras que Chl y Cm presentan valores similares tanto en estado verde como seco.

Con la disminución del contenido de humedad de la madera al 12 % , las propiedades mecánicas de Chl, Ps y Cm, aumentaron en promedio un 56%, 49% y 29% respectivamente.

Los valores determinados en este estudio para Ps y Chl son similares a otros registrados en Estados Unidos, mientras que Cm presenta valores un 12% más bajos que los encontrados para esta especie creciendo en Nueva Zelandia.

SUMMARY

The mechanical properties of the wood have been determined in its green and dry state (12 % C.H) of the species Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl (Chl) , Cupressus macrocarpa Hartw (Cm) y Pinus strobus L. (Ps) coming from the National Reserve of Malleco.

The measures made correspond to loads of the parallel compression to the grains, estatic bending, shear and hardness (Janka), for this was used mainly the prescriptions established of the Chilean Norms concerning to mechanic test. Of the three species studied Ps represents on average the lowest valves of mechanic resistance, while chl and Cm present similar valves as much as green state or dry state. whit a 12 % of moisture content of the wood the mechanic properties of Chl, Ps, Cm, on average increased a 56 %, 49 %, and 29 % respectively.

the determined valves in this study for Ps and Chl are similar to others registrated in E.E.U.U, while Cm represents valves a 12 % lower than the oves found for this specie growing in New Zeland.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1) BISSO, G. 1982. Propiedades mecánicas y físicas asociadas de 8 especies del género Eucaliptus. Tesis de grado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Santiago, Chile.
- 2) CAMPOS, A.; G. CUBILLOS; F. MORALES y S. PASTENE. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Instituto Forestal, Informe Técnico N° 122. Santiago - Chile.
- 3) CARRASCO, P. 1994. Caracterización edafológica de la Reserva Nacional de Malleco, sector Los Guindos. En: DRAKE, F.; J. GARCIA; y J. MILLAN. (Eds). Estudios básicos sobre volumetría, crecimiento y taxonomía en rodales de coníferas exóticas en el sector los Guindos, Reserva Nacional de Malleco, Comuna de Collipulli IX Región. Universidad de Concepción, Chile.
- 4) CONAF. 1982. Chile, sus parques nacionales y otras áreas naturales. Madrid, España.

- 5) DIAZ-VAZ, J.E.; y H. CUEVAS. 1982. Ensayos mecánicos de la madera. Publicacion Docente N°8. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.
- 6) DIAZ-VAZ, J.E.; y H. CUEVAS. 1986. Mecánica de la madera. Publicacion Docente N°23. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.
- 7) DONOSO, J.; y R. NAVARRETE. 1969. Determinación de las propiedades mecánicas de algunas maderas de importancia comercial en Chile. En: Actas de la reunión sobre investigaciones en productos forestales, Informe Técnico N°36, Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- 8) FOREST INDUSTRIES REVIEW. 1979. Properties and uses of Macrocarpa. Vol.10, N°2. New Zealand.
- 9) INFOR. 1982. Características físico - mecánicas de 10 especies de Eucaliptus crecidas en Chile. Informe Técnico N°84. Santiago, Chile.
- 10) INFOR. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotacion. Informe Técnico N°122. Santiago, Chile.

- 11) INFOR. 1991. Manual de construcción en madera N°10. Vol.1.
Segunda Edición. Santiago, Chile.
- 12) INFOR. 1993. Estadísticas Forestales 1992. Boletín
Estadístico N°26. Santiago, Chile.
- 13) INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Nch 973.
Madera. Determinación de las propiedades mecánicas.
Ensayo de Compresión paralela al grano. Santiago, Chile.
- 14) INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Nch 976.
Madera. Determinación de las propiedades mecánicas.
Ensayo de Cizalle. Santiago, Chile.
- 15) INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Nch 978.
Madera. Determinación de las propiedades mecánicas.
ensayo de Dureza. Santiago, Chile.
- 16) INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Nch 987. Madera.
Determinación de las propiedades mecánicas. ensayo de
flexión estática. Santiago, Chile.
- 17) INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1988. Nch 176/2
Madera. Determinación de la densidad. Santiago, Chile.

- 18) KARSULOVIC, T.; y R. NAVARRETE. 1977. Propiedades mecánicas de maderas comerciales Chilenas. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Tecnología de la madera, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- 19) KOLLMAN, F.; y A. COTE. 1968. Principles of wood. Science and Technology. Vol.1, N°1, Solid Wood. Springer - Verlag, Berlin.
- 20) NORAMBUENA, A. 1967. Determinación de algunas propiedades mecánicas de Laurelia philippiana y Nothofagus dombeyii en base a tres métodos normalizados. Tesis de grado Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal, Instituto de Tecnología de la madera, Valdivia, Chile.
- 21) PANSHIN, A.; y C. SEEUW. 1980. Structure, Identification, Properties, and Uses of the commercial woods of the United States and Canada. Textbook of Wood Technology. Fourth Edition. McGraw-Hill, New York.
- 22) PEREZ, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Investigación y Desarrollo Forestal, Documento de trabajo N° 47, CONAF, Santiago,

Chile.

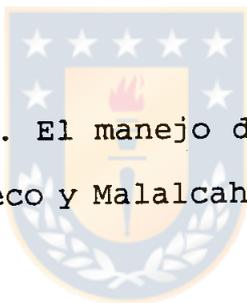
- 23) PEREZ, V. 1987. Agrupamiento de especies madereras que crecen en Chile según sus propiedades mecánicas. Ciencia e Investigación Forestal. Vol.1, N°1, Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- 24) PEREZ, V. 1989. Incidencia de la edad del árbol sobre las propiedades físicas y mecánicas en Pino Radiata. Ciencia e Investigación Forestal. Vol.3, N°1, Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- 25) RODRIGUEZ, G.; y R. RODRIGUEZ. 1989. Las especies de pináceas cultivadas en Chile. Bosque. Vol.4, N°1, Valdivia, Chile.
- 26) RODRIGUEZ, G. 1991. Especies de cupressáceas cultivadas en Chile. Agrociencia. Vol.7, N°1. Chillán, Chile.
- 27) RODRIGUEZ, G.; y R. RODRIGUEZ. 1994. Estudio taxonómico de especies presentes en el sector Los Guindos, Reserva Nacional de Malleco. En: DRAKE, F.; J. GARCIA; y J. MILLAN. (Eds). Estudios básicos sobre volumetría, crecimiento y taxonomía en rodales de coníferas exóticas

en el sector los Guindos, Reserva Nacional de Malleco, Comuna de Collípulli IX Región. Universidad de Concepción, Concepción, Chile (en prensa).

- 28) SEELY, B. 1954. Resistencia de materiales. Biblioteca Técnica de Ingeniería, México.
- 29) SPULER, H. 1973. Algunas propiedades físicas y mecánicas del olivillo (Aextoxicon punctatum ret pav). Tesis de grado. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Instituto de Tecnología e Industria de la Madera. Valdivia, Chile 1973.
- 30) STREETS, R. 1962. Exotic Forest Trees in the British Commonwealth. Clarendon press. Oxford, England.
- 31) TORRES, H. 1971. Maderas. Corporación de la Madera. Santiago, Chile.
- 32) TORRICELLI, E. 1937. Estudio anatómico de las maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización. Santiago, Chile.
- 33) TORRICELLI, E. 1941. Propiedades físicas y mecánicas de

las maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización. Santiago, Chile.

- 34) DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST PRODUCTS LABORATORY.
1987. Wood as an Engineering Material. Wood Handbook :
Handbook N°72. U.S.A.
- 35) VALENZUELA, L.; y Y. NAKAYAMA. 1991. The bending work of
Radiata Pine grown in Chile. Mokuzhi Gakkaishi Vol.37,
N°5.
- 36) WADSWORTH, F. 1973. El manejo de las Reservas Forestales
Chilenas de Malleco y Malalcahuello. Informe Técnico N°2
FAO, ROMA.



VII. APENDICES

APENDICE 1 A

ESPECIE : Pinus strobus			ESTADO : Verde		
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION
FLEXION ESTATICA					
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0245	0,0090	36,73
Módulo Elasticidad	kgf/cm2	21	49772,4	5174,31	10,39
Módulo Ruptura	kgf/cm2	21	324,25	25,45	7,84
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	204,48	21,52	10,52
COMPRESION PARALELA					
Tensión de Rotura	kgf/cm2	20	179,51	20,41	11,36
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	20	101,29	22,30	22,01
CIZALLE					
T. Rotura Tangencial	kgf/cm2	20	48,62	7,54	15,51
T. Rotura Radial	kgf/cm2	15	44,73	5,49	12,27
DUREZA (JANKA)					
Resistencia Paralela	kgf	20	192,25	7,29	3,79
Resistencia Normal	kgf	20	127,25	8,65	6,79
PROPIEDADES FISICAS					
C. de Humedad	%	96	199,93	33,77	16,89
Densidad Básica	kg/cm3	96	0,288	0,018	6,42
Densidad Anhidra	kg/cm3	96	0,311	0,023	7,39
Densidad Aparente	kg/cm3	96	0,862	0,078	9,04

APENDICE 2 A

ESPECIE : Pinus strobus		ESTADO : Seco			
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION
FLEXION ESTATICA					
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0079	0,0010	12,65
Módulo Elasticidad	kgf/cm2	21	61883,8	14160,80	22,80
Módulo Ruptura	kgf/cm2	21	702,63	98,97	14,08
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	390,71	69,67	17,83
COMPRESION PARALELA					
Tensión de Rotura	kgf/cm2	21	249,43	11,32	4,53
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	123,23	13,74	11,15
CIZALLE					
T. Rotura Tangencial	kgf/cm2	24	67,51	14,12	20,91
T. Rotura Radial	kgf/cm2	23	63,10	12,25	19,41
DUREZA (JANKA)					
Resistencia Paralela	kgf	23	241,52	33,85	14,01
Resistencia Normal	kgf	23	153,34	27,29	17,79
PROPIEDAD FISICA					
C. de Humedad	%	112	12,08	0,99	8,26
Densidad Nominal	kg/cm3	112	0,307	0,027	8,79
Densidad Anhidra	kg/cm3	112	0,321	0,029	9,03
Densidad Normal	kg/cm3	112	0,344	0,030	8,72

APENDICE 3 A

ESPECIE : Chamaecyparis lawsoniana		ESTADO : Verde			
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION
FLEXION ESTATICA					
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0159	0,0047	29,56
Módulo Elasticidad	kgf/cm2	21	81375,5	10554,24	12,96
Módulo Ruptura	kgf/cm2	21	479,63	61,52	12,82
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	284,72	39,20	13,76
COMPRESION PARALELA					
Tensión de Rotura	kgf/cm2	21	216,96	40,34	18,59
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	123,57	20,61	16,67
CIZALLE					
T. Rotura Tangencial	kgf/cm2	20	57,81	11,25	19,46
T. Rotura Radial	kgf/cm2	20	62,48	10,41	16,66
DUREZA (JANKA)					
Resistencia Paralela	kgf	15	303,67	15,26	5,02
Resistencia Normal	kgf	15	229,22	13,76	6,00
PROPIEDAD FISICA					
C. de Humedad	%	97	150,85	20,44	13,54
Densidad Básica	kg/cm3	97	0,371	0,030	8,08
Densidad Anhidra	kg/cm3	97	0,412	0,031	7,52
Densidad Aparente	kg/cm3	97	0,914	0,074	8,09

APENDICE 4 A

ESPECIE : Chamaecyparis lawsoniana		ESTADO : Seco			
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION
FLEXION ESTATICA					
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0079	0,0015	18,98
Módulo Elasticidad	kgf/cm ²	21	86796,48	8805,60	10,14
Módulo Ruptura	kgf/cm ²	21	728,20	109,56	15,04
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm ²	21	364,57	43,89	12,03
COMPRESION PARALELA					
Tensión de Rotura	kgf/cm ²	22	355,43	24,37	6,85
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm ²	22	133,23	30,34	22,77
CIZALLE					
T. Rotura Tangencial	kgf/cm ²	24	102,92	18,17	17,65
T. Rotura Radial	kgf/cm ²	24	101,16	24,33	24,04
DUREZA (JANKA)					
Resistencia Paralela	kgf	21	520,71	48,53	9,32
Resistencia Normal	kgf	21	426,78	52,59	12,32
PROPIEDAD FISICA					
C. de Humedad	%	112	11,97	0,81	6,76
Densidad Nominal	Kg/cm ³	112	0,399	0,036	9,02
Densidad Anhidra	Kg/cm ³	112	0,414	0,037	8,93
Densidad Normal	Kg/cm ³	112	0,441	0,039	8,84

APENDICE 5 A

ESPECIE : Cupressus macrocarpa		ESTADO : Verde			
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION
FLEXION ESTATICA					
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0122	0,0030	24,59
Módulo Elasticidad	kgf/cm2	21	64524,26	8472,46	13,13
Módulo Ruptura	kgf/cm2	21	503,98	49,49	9,81
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	326,72	41,42	12,67
COMPRESION PARALELA					
Tensión de Rotura	kgf/cm2	20	228,87	17,16	7,49
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	20	125,79	29,00	23,06
CIZALLE					
T. Rotura Tangencial	kgf/cm2	20	73,45	6,75	9,19
T. Rotura Radial	kgf/cm2	20	59,15	9,47	16,00
DUREZA (JANKA)					
Resistencia Paralela	kgf	17	310,42	9,68	3,11
Resistencia Normal	kgf	17	207,68	7,45	3,59
PROPIEDAD FISICA					
C. de Humedad	%	98	158,09	17,59	11,12
Densidad Básica	kg/cm3	98	0,353	0,014	3,96
Densidad Anhidra	kg/cm3	98	0,389	0,016	4,11
Densidad Aparente	kg/cm3	98	0,912	0,056	6,14

APENDICE 6 A

ESPECIE : Cupressus macrocarpa						ESTADO : Seco					
ENSAYO O PROPIEDAD	UNIDAD	TAMANO	MEDIA	DESVIAC. ESTANDAR	COEFICIE. VARIACION						
FLEXION ESTATICA											
Módulo Plástico	cm/kgf	21	0,0075	0,0010	13,33						
Módulo Elasticidad	kgf/cm2	21	78274,34	6981,75	8,91						
Módulo Ruptura	kgf/cm2	21	772,81	57,70	7,46						
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	21	382,06	50,43	13,20						
COMPRESION PARALELA											
Tensión de Rotura	kgf/cm2	22	315,65	43,80	13,87						
Tensión Lim. Propor.	kgf/cm2	22	143,68	21,96	15,28						
CIZALLE											
T. Rotura Tangencial	kgf/cm2	20	88,23	21,94	24,86						
T. Rotura Radial	kgf/cm2	21	85,24	15,43	18,10						
DUREZA (JANKA)											
Resistencia Paralela	kgf	24	442,08	38,75	8,76						
Resistencia Normal	kgf	24	250,41	7,99	3,19						
PROPIEDAD FISICA											
C. de Humedad	%	108	12,33	0,72	5,87						
Densidad Nominal	kg/cm3	108	0,395	0,027	6,83						
Densidad Anhidra	kg/cm3	108	0,403	0,031	7,69						
Densidad Normal	kg/cm3	108	0,433	0,033	7,62						

Apéndice 1B.

Comparación con valores de propiedades mecánicas de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl. Creciendo en Estados Unidos en estado verde.

Propiedad o Solicitación	Unidad	Estados Unidos		Estudio	
		Valor	%	Valor	%
Densidad Básica	gr/cm ³	0,39	100,0	0,37	94,87
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm ³	464,00	100,0	479,63	103,36
- Módulo de elasticidad	ton/cm ²	91,39	100,0	81,37	89,03
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm ²	221,00	100,0	216,96	98,17
Cizalle Paralelo					
- Tensión Máxima	kgf/cm ²	50,00	100,0	60,14	120,28
Dureza					
- Normal a las fibras	kgf	172,00	100,0	229,22	133,26
Promedio			100,0		106,5

Fuente : Agriculture Handbook Nº 72 (1987) USDA Forest Service.

Apéndice 2B.

Comparación con valores de propiedades mecánicas de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl. Creciendo en Estados Unidos en estado seco (12 % CH).

Propiedad o Solicitación	Unidad	Estados Unidos		Estudio	
		Valor	%	Valor	%
Densidad Nominal	gr/cm ³	0,43	100,0	0,40	93,02
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm ³	893,00	100,0	728,20	81,54
- Módulo de elasticidad	ton/cm ²	119,52	100,0	86,79	72,61
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm ²	439,00	100,0	355,43	80,96
Cizalle Paralelo					
- Tensión Máxima	kgf/cm ²	96,00	100,0	102,04	106,29
Dureza					
- Normal a las fibras	kgf	286,00	100,0	426,78	149,22
Promedio			100,0		97,3

Fuente : Agriculture Handbook Nº 72 (1987) USDA Forest Service.

Apéndice 3B.

Comparación con valores de propiedades mecánicas de Pinus strobus L. Creciendo en Estados Unidos en estado verde.

Propiedad o Solicitación	Unidad	Estados Unidos		Estudio	
		Valor	%	Valor	%
Densidad Básica	gr/cm ³	0,34	100,0	0,29	85,94
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm ³	344,50	100,0	324,25	94,12
- Módulo de elasticidad	ton/cm ²	69,60	100,0	49,77	71,50
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm ²	171,50	100,0	179,51	104,67
Cizalle Paralelo					
- Tensión Máxima	kgf/cm ²	47,80	100,0	46,67	97,63
Dureza					
- Normal a las fibras	kgf	131,26	100,0	127,25	96,94
Promedio			100,0		91,8

Fuente : Agriculture Handbook Nº 72 (1987) USDA Forest Service.

Apéndice 4B.

Comparación con valores de propiedades mecánicas de Pinus strobus L. Creciendo en Estados Unidos en estado seco (12 % CH).

Propiedad o Solicitación	Unidad	Estados Unidos		Estudio	
		Valor	%	Valor	%
Densidad Nominal	gr/cm3	0,35	100,0	0,31	88,57
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm3	604,60	100,0	702,63	116,21
- Módulo de elasticidad	ton/cm2	87,17	100,0	61,83	70,93
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm2	337,50	100,0	355,43	105,31
Cizalle Paralelo					
- Tensión Máxima	kgf/cm2	63,27	100,0	65,30	103,21
Dureza					
- Normal a las fibras	kgf	172,00	100,0	153,34	89,15
Promedio			100,0		95,56

Fuente : Agriculture Handbook Nº 72 (1987) USDA Forest Service.

Apéndice 5B.

Comparación de valores de propiedades mecánicas de Cupressus macrocarpa Hartw. Creciendo en Nueva Zelanda en estado verde y seco.

Propiedad o sollicitación	Unidad	Nueva Zelanda		Estudio	
		Valor	%	Valor	%
estado verde					
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm ³	578,18	100,0	503,98	87,16
- Módulo de elasticidad	ton/cm ²	65,26	100,0	64,52	98,87
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm ²	286,50	100,0	228,87	79,88
Promedio en verde			100,0		88,63
Estado seco					
Densidad Nominal	gr/cm ³	0,49	100,0	0,39	79,59
Flexión estática					
- Módulo de ruptura	kgf/cm ³	802,50	100,0	772,81	96,30
- Módulo de elasticidad	ton/cm ²	77,49	100,0	78,27	101,00
Compresión Paralela					
- Tensión Máxima de rotura	kgf/cm ²	418,10	100,0	315,65	75,49
Promedio en seco			100,0		88,10

Fuente : Forest Industries review, 1979.