

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



**DETERMINACION DEL TRABAJO EN FLEXION DE SIETE
ESPECIES DE CONIFERAS EXOTICAS CRECIDAS EN CHILE**

Por

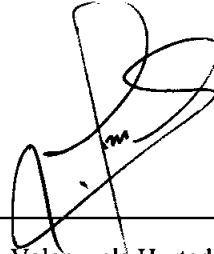
ALIRO DANTE GASCON CASTRO

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

CONCEPCION - CHILE
1996

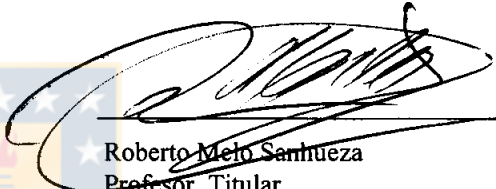
DETERMINACION DEL TRABAJO EN FLEXION DE SIETE
ESPECIES DE CONIFERAS EXOTICAS CRECIDAS EN CHILE

Profesor Asesor



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

Profesor Co-Asesor



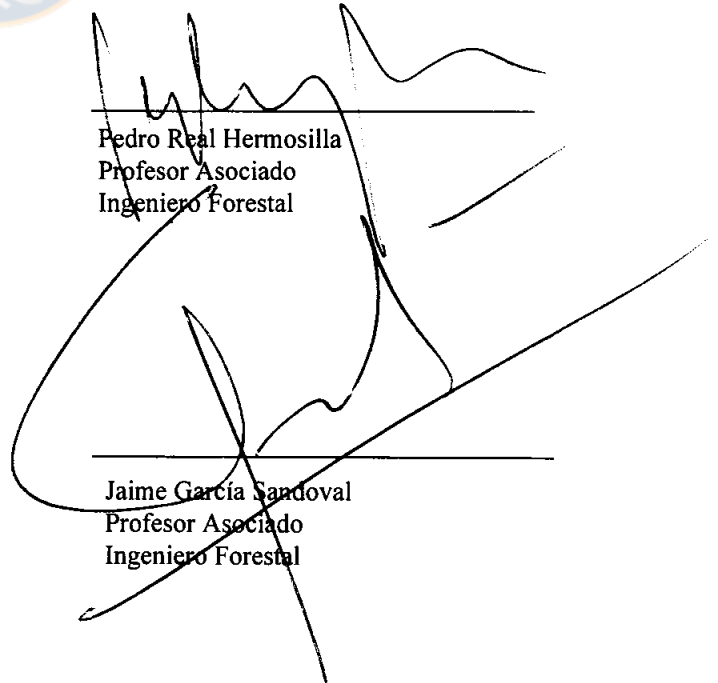
Roberto Melo Sanhueza
Profesor Titular
Ingeniero Civil Químico

Director Departamento



Pedro Real Hermosilla
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

DEDICATORIA

A Aliro... mi padre, que está en mis recuerdos y a quién trato de imitar sus altos valores de honestidad, sencillez y respeto a los seres humanos.

A Otilia... mi madre, quién jamás dudo de mi y a quién debo gran parte de lo que tengo por la gran fortaleza y fe que posee.

A Berta y Adriana...mis hermanas, con las que he compartido toda una vida de hermandad y comprensión.

A Giovanna...mi compañera, quién me apoyó en los últimos días de universidad y con la que espero recorrer todos los demás.



AGRADECIMIENTOS

A Don Luis Valenzuela, quién guió los caminos de este trabajo y simplificó las dificultades que se presentaron.

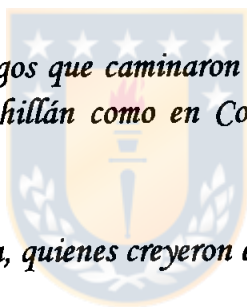
A Don Roberto Melo, quién aportó su innegable experiencia y conocimiento, y además facilitó - desinteresadamente - su computador en momentos claves del desarrollo de esta memoria.

A mis amigos Luis Moraga y Alex Fajardo, quienes me prestaron su máxima colaboración y consejo, entendible sólo en los grandes amigos.

A mis amigos Nelson Alarcón y Paloma, quienes me acogieron en su casa y, por lo cual, compartimos muchos momentos placenteros.

A mis grandes compañeros y amigos que caminaron conmigo los hermosos y sufridos años de vida universitaria, tanto en Chillán como en Concepción. Para los que se han distanciado, el mejor de los recuerdos.

A mis tios Dante, Elba y Adriana, quienes creyeron en mi a pesar de mis caídas.



INDICE DE MATERIAS

<i>CAPITULOS</i>	<i>PAGINA</i>
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Madera.....	3
2.2 Propiedades Mecánicas.....	3
2.2.1 Generalidades y Definiciones.....	3
2.2.2 Propiedades obtenidas del Gráfico Carga/Deflexión.....	5
2.3 Propiedades Fisicas que afectan las Propiedades Mecánicas.....	9
2.3.1 Contenido de Humedad.....	9
2.3.2 Densidad.....	10
2.3.3 Defectos.....	12
2.4 Trabajo.....	12
2.4.1 Trabajo elástico (W_e).....	13
2.4.2 Trabajo plástico (W_p).....	14
2.4.3 Trabajo total (W_t).....	14
2.5 Parámetros Comparativos del Trabajo en Flexión.....	14
2.5.1 Coeficiente de Tetmajer (η).....	15
2.5.2 Módulo Plástico de Janka (Z).....	15
2.5.3 Trabajo Específico de Janka (α).....	16
2.6 Relaciones entre prop. en flexión, densidad y ancho de anillos.....	16
III MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1 Materiales.....	17
3.2 Procedencia de las muestras.....	18
3.3 Descripción del ensayo en flexión estática.....	18
3.4 Metodología de trabajo.....	19

<i>CAPITULOS</i>	<i>PAGINA</i>
IV	RESULTADOS Y DISCUSION..... 21
4.1	Resumen de Resultados..... 21
4.2	Discusión de cada variable en estudio..... 23
4.2.1	Trabajo elástico (W_e)..... 23
4.2.2	Trabajo plástico (W_p)..... 25
4.2.3	Trabajo total (W_t)..... 26
4.2.4	Coficiente de Tetmajer (η)..... 27
4.2.5	Módulo Plástico de Janka (Z)..... 28
4.2.6	Trabajo Específico de Janka (α)..... 29
4.3	Comparaciones porcentuales de Energía en Flexión..... 30
4.4	Relaciones..... 33
V	CONCLUSIONES..... 37
VI	RESUMEN Y SUMMARY..... 38
6.1	Resumen..... 38
6.2	Summary..... 39
VII	BIBLIOGRAFIA..... 40
VIII	APENDICES.
A	Tablas de cálculos de todos los valores obtenidos.
B	Gráfico de todas las especies en estado verde y seco
C	Grado de Significancia de las Variables independientes
IX	ANEXOS.
A	Correspondencia de cada especie a su Clase Estructural.
B	Usos de las maderas en estudio.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Valores de densidades de <i>P. radiata</i> para estados verde y seco.....	11
2	Valores Promedios en estado seco para los trabajos en flexión, los parámetros comparativos de trabajo en flexión y otras propiedades mecánicas y físicas de las especies.....	21
3	Valores Promedios en estado verde para los trabajos en flexión, los parámetros comparativos de trabajo en flexión y otras propiedades mecánicas y físicas de las especies.....	22
4	Regresión lineal múltiple para <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	33
5	Regresión lineal múltiple para <i>Cupressus lusitanica</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	33
6	Regresión lineal múltiple para <i>Cupressus macrocarpa</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	34
7	Regresión lineal múltiple para <i>Picea obovata</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	34
8	Regresión lineal múltiple para <i>Pinus pinaster</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	34
9	Regresión lineal múltiple para <i>Pinus radiata</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	35
10	Regresión lineal múltiple para <i>Pinus strobus</i> , considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	35
11	Regresión lineal múltiple para todas las especies, considerando W_e , W_p y W_t en estados verde y seco.....	35

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Comportamiento gráfico general de la madera y de otros muchos materiales cuando se aplica una carga y su correspondiente deflexión.....	5
2	Diagrama Propiedades Mecánicas v/s Porcentaje en el contenido de Humedad de la madera con relación al Punto de saturación de las fibras.....	10
3	Valores medios del Trabajo elástico (W_e), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	23
4	Valores medios del Trabajo plástico (W_p), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	25
5	Valores medios del Trabajo total (W_t), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	26
6	Valores medios del Coeficiente de Tetmajer (η), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	27
7	Valores medios del Módulo plástico de Janka (Z), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	28
8	Valores medios del Trabajo específico de Janka (α), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.....	29
9	Valores medios de los Trabajos en Flexión, en estado seco.....	30
10	Valores medios de los Trabajos en Flexión, en estado verde.....	32

I. INTRODUCCION

En los últimos años, el tema de la diversificación arbórea ha constituido un referente especial en la política forestal del país, cualesquiera sean las razones que hayan estimulado tal conducta. La tarea de encontrar nuevas especies que potencien nuestro desarrollo, haciendo aún mejor tan variado y enorme territorio, fue ya emprendida en el pasado por visionarios planificadores forestales. Así, hoy en día, cualquier estudio que tienda al conocimiento de nuevas especies madereras, adquiere - por razones de mercado y política forestal - una importancia y potencialidad innegable en el tiempo.

Las especies en estudio, cuyas edades fluctúan entre 52 y 62 años provienen de plantaciones experimentales establecidas en el sector “Los Guindos” de la Reserva Nacional de Malleco; éstas son: *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parlat., *Pinus strobus* L., *Pinus pinaster* Ait., *Cupressus macrocarpa* Hartw. y *Cupressus lusitanica* Mill. Las muestras de la especie *Pinus radiata* D. Don pertenece a predios particulares de Forestal Mininco S.A.

El propósito global de este estudio - considerando que en Chile no existen antecedentes de las propiedades de energía en flexión para las especies mencionadas - es obtener información de alto valor científico y tecnológico que favorezca la preparación de programas de diversificación de especies en plantaciones futuras.

El objetivo del estudio es determinar el trabajo en flexión estática (Trabajo elástico (W_e), Trabajo plástico (W_p) y Trabajo total (W_t)) en estado verde y seco de las siete coníferas exóticas crecidas en Chile señaladas en el párrafo anterior. Además, determinar los Parámetros Comparativos del Trabajo en Flexión Estática (Coeficiente de Tetmajer (η); Módulo Plástico de Janka (Z); y Trabajo Específico de Janka (α)). Por último correlacionar variables de fácil medición, como son: Módulo de elasticidad (MOE),

Ancho de anillos de crecimiento (AAC) y Densidad básica (DB) con variables de Trabajo en flexión, cuya determinación se ve dificultada desde el punto de vista técnico y económico.



II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Madera.

La madera es un material orgánico, no homogéneo, compuesto fundamentalmente por celulosa y lignina. La celulosa constituye la estructura de las paredes celulares, mientras que la lignina es el material ligante de las células entre sí (Pérez, 1981; Pérez, 1983; Bisso, 1982; Infor, 1991).

La madera contiene de 40 a 55 % de celulosa, de 15 a 30 % de lignina, y de 2 a 15 % de otras sustancias llamadas extractivas (taninos, terpenos y polifenoles, entre otros). En tanto que la celulosa confiere flexibilidad a la pared de la célula, la lignina le importa rigidez (Foulger, 1972). La estructura de la lignina no es fibrosa, pero por formarse alrededor de las fibrilas (estructura gruesa formada por hebras que, a su vez, son agrupaciones de moléculas de celulosa) da a la pared celular una consistencia semejante al hormigón armado (Foulger, 1972).

La madera es higroscópicamente inestable. Higroscopicidad es la propiedad de absorber y exhalar agua según las circunstancias del medio ambiente.

2.2 Propiedades Mecánicas

2.2.1 Generalidades y Definiciones. La rama de la mecánica (ciencia que estudia la influencia de las fuerzas sobre los cuerpos) que investiga el desarrollo de esfuerzos o fatigas en cuerpos sometidos a la acción de cargas exteriores y la consiguiente deformación de los mismos, se denomina Resistencia de Materiales (Sloane, 1966).

Las Propiedades Mecánicas de la madera miden su capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas (Pérez, 1981; Pérez, 1983; Norambuena, 1967; Bisso, 1982; Diaz-Vaz y Cuevas, 1982; Spuler, 1973), entendiéndose por ello cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño o dimensión, o la deforme de otra manera cualquiera (Pérez, 1983; Bisso, 1982; Torricelli, 1941).

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera, se obtiene a través de la experimentación, en un ensayo de laboratorio; es decir utilizando probetas. Si se han realizado correctamente son preferibles bajo cualquier concepto; ya que se emplea menos tiempo y material que en las determinaciones directas, y, en consecuencia están mejor adaptados para el gran número de ensayos que deben realizarse para estudiar las variaciones naturales de la madera (Pérez, 1981), además el que un ensayo a escala natural no pueda llevarse a cabo generalmente por razones prácticas, ha obligado a una profunda investigación encaminada a establecer los factores de correlación que permitan estimar la razón de semejanza entre el modelo y el elemento de servicio.

Los ensayos se realizan en dos estados de contenidos de humedad. El primero, con probetas que tienen una humedad superior al 30 % (estado verde) y, el segundo, con probetas cuyo contenido de humedad sea el 12 % (estado seco) (Pérez, 1981).

La madera, posee tres direcciones de simetría elástica mutuamente perpendiculares entre sí, es decir es un material ortotrópico, ya que posee planos radiales, tangenciales y longitudinales. Por lo tanto las propiedades mecánicas no son las mismas en todos los sentidos; en consecuencia para definir un esfuerzo de la madera es necesario especificar la dirección de las fuerzas aplicadas en relación a la dirección de las fibras. (Benavente, 1993).

Esfuerzo: Es la fuerza interna total o resultante que se transmite a través de una sección plana de un cuerpo libre (cuerpo aislado de sus inmediatos) (Sloane, A., 1966).

2.2.2 Propiedades obtenidas del Gráfico Carga / Deflexión. Si trazamos un diagrama en el cual se toman en la ordenada las cargas y en las abscisas las deflexiones, se revelan gráficamente (Figura N° 1) un conjunto de propiedades mecánicas. La primera parte de este diagrama corresponde a la zona elástica, y la segunda a la zona plástica.

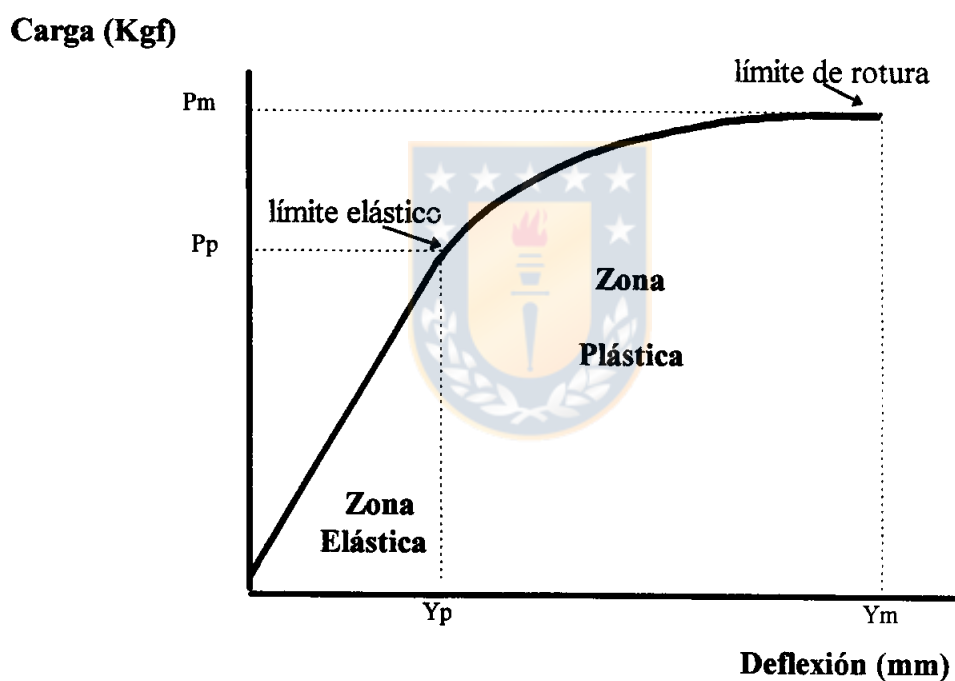


Figura N° 1. Comportamiento gráfico general de la madera en flexión y de otros muchos materiales cuando se aplica una carga y su correspondiente deflexión. Nótese, además, que la zona elástica se encuentra delimitada por un triángulo.

En la fase elástica, si se aplican cargas adicionales para luego ser retiradas, se observa que la probeta continúa su forma y dimensiones originales mientras no se alcance un valor límite de la carga. Al esfuerzo correspondiente a esta carga límite se le denomina *límite elástico* del material. Pasado este punto, varía la manera del comportamiento del material, las nuevas dimensiones son permanentes, es decir, ha quedado deformado (fase plástica).

Panshin y De Zeeuw (1980), indican que la deformación de la madera bajo carga es el resultado de dos componentes independientes actuando simultáneamente. El primero, es el comportamiento elástico de la madera, que es resultado de la presencia de las microfibrillas, que muestran una respuesta elástica a la aplicación y remoción de una carga, es decir la deformación es totalmente recuperable cuando la carga es removida. El segundo componente es la deformación plástica de la madera, que ocurre como resultado de las propiedades de flujo de la fracción de lignina de la pared celular bajo carga. La recuperación de la deformación plástica es lenta y, eventualmente, se recupera en sólo alrededor de la mitad de la deformación total.

La proporcionalidad entre la carga y la deflexión fue por primera vez registrada por Robert Hooke, que la observó en 1778. "*Ut tensio sic vis*" (como el alargamiento, es la fuerza), y es frecuentemente referida como la ley de Hooke (Hidgon, Ohlsen y Stiles, 1962).

Thomas Young, en 1807, sugirió la importancia de emplear la relación entre el esfuerzo y la deformación para medir la rigidez de un material (Hidgon, Ohlsen y Stiles, 1962; Pérez, 1981). Esta relación se llama *Módulo de Young* o *Módulo de Elasticidad*, para las propiedades de compresión y de tensión en materiales y representa la inclinación de la parte recta de un diagrama (parte elástica) esfuerzo-deformación. Este concepto se representa como sigue:

$$E = \sigma / \epsilon$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad.

$\sigma = P/A$ = Esfuerzo normal por unidad de superficie.

$\epsilon = \delta/L$ = Deformación por unidad de longitud.

Para probetas ensayadas en flexión, su cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\text{MOE} = P_p l^3 / 4Y_p b h^3 \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

P_p = Carga en el límite proporcional (Kg)

Y_p = Deflexión en el límite proporcional (cm)

l = Luz de ensayo (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)



Rigidez: es la propiedad por medio de la cual un cuerpo solicitado por fuerzas externas tiende a retener sus tamaños y formas naturales (Torricelli, 1941; Diaz-Vaz y Cuevas, 1982, Pérez, 1981).

Sloane (1966) define la *Rigidez* como la característica o propiedad mecánica que define la capacidad que tiene un material para resistir a la deformación dentro del período elástico. Si un material exige un aumento considerable de la carga para producir una deformación dada, tendrá un valor grande de MOE. Recíprocamente, si el valor de MOE es bajo, el material carecerá de rigidez, en cuyo caso un pequeño aumento de la carga dará lugar a una deformación considerable. El MOE sólo se aplica dentro de la zona elástica (Bisso, 1982; Pérez, 1983).

El valor más alto de la resistencia, expresada como esfuerzo unitario, se llama *carga de Rotura* del material. En este punto se obtiene el *Modulo de Rotura* (MOR). Se obtiene antes de que se produzca la falla del material. Se expresa como:

$$\text{MOR} = 3P_m l / 2bh^2 \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

P_m = Carga máxima (Kg)

l = Luz de ensayo (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

Tensión en el límite de Proporcionalidad (σ). Corresponde a la carga unitaria máxima a que se puede someter un material sin que se produzcan deformaciones permanentes. Se expresa como:

$$\sigma = 3P_p l / 2bh^2 \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

P_p = Carga en el límite de proporcionalidad (Kg)

l = Luz de ensayo (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

h = Altura de la probeta (cm)

Una propiedad importante relacionada con diseño estructural es la *Tenacidad*, que es la capacidad de absorber grandes cantidades de energía, de un material, sin que sobrevenga la rotura (Sloane, 1966). Cuantitativamente está dada por el área bajo la curva del diagrama carga/deflexión, y su relación es directa: a mayor área, mayor tenacidad.

2.3 Propiedades Físicas que afectan las Propiedades Mecánicas.

2.3.1 Contenido de Humedad. 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 (Pérez, 1981).

Esta característica afecta el uso que se puede hacer de la madera, puesto que dependiendo de la cantidad de agua presente en las cavidades celulares, su comportamiento ante alguna sollicitación será diferente y es altamente dependiente de la temperatura y humedad ambiental.

Según Kollmann y Côte (1968), las propiedades de la madera se ven afectadas cuando la humedad de ésta disminuye bajo el Punto de saturación de las fibras (PSF), y sobre éste el efecto de la humedad es mínimo.

El Punto de Saturación de las Fibras se alcanza cuando las paredes de las células están saturadas de agua y los lúmenes sin ésta, es decir, se ha eliminado toda el agua libre. Varía en cada especie, pero su valor oscila de 25 a 35 % de contenido de agua (Valenzuela, 1993). Pérez (1981), menciona que se acepta un 28 % como promedio para la madera en general.

Al disminuir la humedad bajo el PSF se aumenta la resistencia mecánica. Cada 1 % de disminución hace aumentar en un promedio general cerca de un 4 % la resistencia a la flexión (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982).

En general se puede relacionar las Propiedades mecánicas de la madera con el contenido de humedad. Esto se visualiza en la Figura N° 2. (Valenzuela, 1993)¹.

¹ Valenzuela, L. 1996. Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción

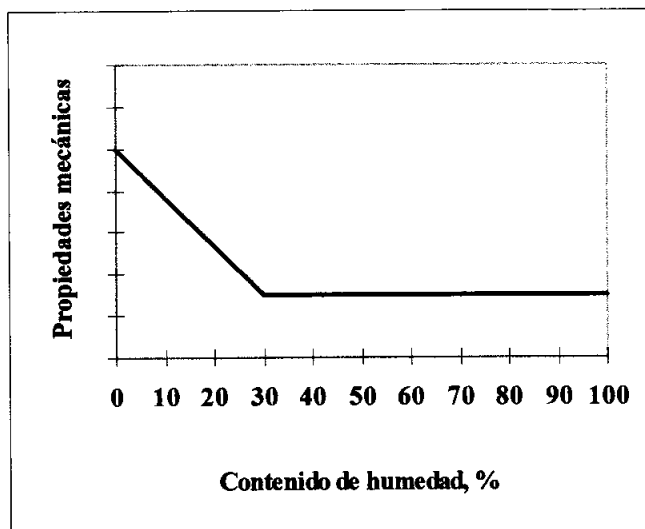


Figura N° 2. Diagrama Propiedades Mecánicas v/s Porcentaje en el contenido de Humedad de la madera con relación al Punto de saturación de las fibras.

Bajo el Punto de saturación de las fibras, comienza un proceso de contracción que, dependiendo de la disposición de los anillos y la dirección de las fibras, reducirán sus dimensiones, la deformarán y posiblemente la agrieten; pero estas fuerzas están relacionadas principalmente con sus propiedades físicas, y por lo tanto, no están comprendidas entre las que se refieren estrictamente a resistencia (Pérez, 1981)

2.3.2 Densidad. Es el cociente entre la masa y el volumen. La madera por ser higroscópica, presenta aspectos más complejos, debido a que tanto el peso como el volumen de una pieza varía con el contenido de humedad de ella. Se definen distintas tipos y formas de medir densidades en la madera (Nch 176/2).

- a.- *Densidad anhidra*: Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra.
- b.- *Densidad aparente*: Es la que relaciona la masa y el volumen determinado a un mismo contenido de humedad.
- c.- *Densidad básica*: Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad por sobre el PSF.
- d.- *Densidad nominal*: Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad igual al 12 %.
- e.- *Densidad normal*: Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera, ambos determinados a un contenido de humedad igual al 12 %.

La Tabla N° 1, muestra valores de los distintos tipos de densidades para Pino insigne en estados de humedad verde y seco.

Tabla N° 1. Valores de densidades de P. radiata para estados verde y seco

Tipo de Densidad	Estado en peso y volumen	Estado	Valores (Kg/m ³)
<i>Densidad anhidra</i>	Ps/Vs	-----	433
<i>Densidad aparente</i>	Po/Vo	<i>verde</i>	750
		<i>seco</i>	530
<i>Densidad básica</i>	Ps/Vo	<i>verde</i>	405
		<i>seco</i>	450

Fuente: Pérez, 1981.

Po = peso original de la madera (al contenido de humedad que ella se encuentra).

Vo = volumen original de la madera (al contenido de humedad que ella se encuentra).

Ps = peso anhidro.


Vs = volumen anhidro.

2.3.3 Defectos. Se define como defecto cualquier irregularidad física y/o química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad; determinando, generalmente, una limitación en su uso o aplicación.

Los defectos más importantes en las propiedades mecánicas son: nudos, grietas, rajaduras, fibra inclinada, pudrición y perforación. Debido a esto, la determinación de las propiedades mecánicas se realiza en probetas libres de defectos.

2.4 Trabajo.

Trabajo (W), físicamente se define la fuerza "F" necesaria para desplazar un cuerpo una distancia "s". Si el desplazamiento es perpendicular al vector carga, entonces no se realiza trabajo. Este concepto queda expresado mediante la siguiente ecuación


$$W = F s$$

Todo trabajo implica una forma de energía, ya sea como aplicación directa o como reacción a un vector fuerza. Si se aplica una fuerza a una probeta de ensayo de madera, ya sea estructural o de laboratorio, inmediatamente se está aplicando una forma de energía hacia la probeta, a su vez, ésta reacciona frente a la carga absorbiendo dicha energía de tal forma que contrarreste la acción. Esta energía la puede absorber como deformación, como calor, como combinando de ambas, o por último, como ruptura del material. Por lo tanto, la Energía de un objeto es una medida de la capacidad para realizar Trabajo.

Para los ensayos en Flexión Estática, se considera el Trabajo en la zona elástica o Trabajo elástico (W_e), Trabajo en la zona plástica o Trabajo plástico (W_p) y Trabajo total, que es la adición del trabajo elástico y plástico.

En estructuras de madera, bajo cargas estáticas, 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 la viga 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 tal motivo, 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 (Torricelli, 1937).

2.4.1 Trabajo elástico (W_e). Es la cantidad de Energía absorbida por una material sometido a cargas hasta el límite elástico. Esta queda almacenada como energía de deformación. Puesto que no existe deformación permanente del material dentro de estos límites, la totalidad de esta energía potencial será recuperada al retirar la carga (Sloane, 1966). En flexión, el trabajo elástico se determina mediante la siguiente expresión:

$$W_e = \frac{1}{2} P_p Y_p / V \quad (\text{Kgfc}m/\text{cm}^2) \quad (\text{ver Figura N}^\circ 1)$$

Donde:

P_p = Carga en el límite proporcional

Y_p = Deflexión en el límite proporcional

V = Volumen de la probeta

2.4.2 Trabajo plástico (W_p). Es la medida de la deformación plástica de una pieza sometida a cargas en flexión sobre el límite elástico hasta la falla del material. La energía que se ha disipado en forma de calor y una pequeña parte en la recuperación de la deformación. Se representa por el área en la zona plástica del diagrama carga/deflexión. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$W_p = Q/V \quad (\text{Kgfcm/cm}^2)$$

Donde:

Q = Area de la zona plástica representado en 1 cm de gráfico

El área en la zona plástica se mide con una malla de puntos o un planímetro (mecánico o digital) sobre un gráfico carga/deflexión (ver Figura N° 1).

2.4.3 Trabajo total (W_t). El trabajo total es la combinación de resistencia y tenacidad de la madera al cargar un material hasta la rotura. Está representado por el área total bajo la curva del diagrama carga/deflexión. Una gran parte de la Energía correspondiente se ha disipado en forma de calor y en la deformación del cuerpo. Su expresión es la siguiente:

$$W_t = W_e + W_p \quad (\text{Kgfcm/cm}^2) \quad (\text{ver Figura N}^\circ 1)$$

2.5 Parámetros Comparativos del Trabajo en Flexión.

Coefficiente de Tetmajer (η); Módulo Plástico de Janka (Z); y Trabajo Específico de Janka (α), son llamados parámetros comparativos del trabajo en flexión. (Kitahara, 1981; Ono, 1973; citados por Valenzuela y Nakayama, 1991). Estos parámetros se determinan bajo las curvas carga/deflexión por medio de ecuaciones.

Los parámetros aquí mencionados son representaciones numéricas de algunas características de la madera en función de hacerlas comparables y a la vez entregarles, en algunos casos cualidades más o menos nobles.

2.5.1 Coefficiente de Tetmajer (η). También llamado "factor de calidad". Es un detector sensitivo de los defectos sobre la madera en flexión, con valores cercanos a 0.7 para madera estructural (Kollmann, F.; Cote, W. 1968), y para pequeñas muestras (Nakamura, Y.; Valenzuela, L. 1986, citados por Valenzuela y Nakayama, 1991).

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\eta = At / (Pm Ym) \text{ (adimensional) (ver Figura N° 1)}$$

Donde:

A_t = área total bajo la curva. ($A_e + A_p$) (Kg cm).

P_m = máxima carga (Kg).

Y_m = máxima deflexión correspondiente a la máxima carga (kg).

2.5.2 Módulo Plástico de Janka (Z). Es un indicador de la plasticidad de la madera en flexión (Valenzuela y Nakayama, 1991).

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$Z = (Y_m - Y_p) / (P_m - P_p) \text{ (cm/Kgf) (ver Figura N° 1)}$$

Donde:

P_p = Carga en el límite proporcional (Kg).

Y_p = deflexión en el límite proporcional (cm).

2.5.3 Trabajo Específico de Janka (α). Este parámetro representa el trabajo realizado por la carga hasta el quiebre de la viga, es un indicador de la tenacidad de la pieza (Valenzuela y Nakayama, 1991).

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha = Ae + Ap / Ym \quad (\text{Kgf}) \quad (\text{ver Figura N}^\circ 1)$$

2.6 Relaciones entre Propiedades en Flexión, Densidades y Ancho de Anillos

Blanchon (1991), citado por Fernández-Golfin y Diez (1994), trabajando con procedencias francesas de *Pinus pinaster* (marítimo) de tamaño estructural, obtiene coeficientes de determinación (R^2) del 20 % en propiedades en flexión en función del efecto combinado del ancho del anillo de crecimiento y la densidad.

Penetra Cerveira Luozada (1991), citado por Fernández-Golfin y Diez (1994), al trabajar con *Pinus pinaster* portugués, infiere que la anchura de anillo depende de la procedencia mientras que la densidad depende de las características genéticas de cada individuo.

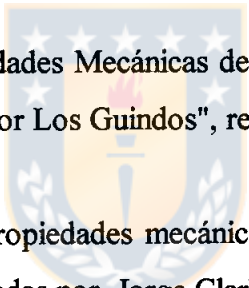
A diferencia de lo anterior, cuando se trabaja con probetas de pequeñas dimensiones y libres de defectos, Walford (1991), sobre *Pinus radiata*, obtiene coeficientes de determinación entre 26 y 39 % cuando estudia la densidad y propiedades en flexión en función de la anchura del anillo.

Fernández-Golfin y Diez (1994), concluyen que la anchura del anillo tiene una validez muy reducida en la predicción de la calidad mecánica de la madera. Prefieren el uso de la densidad como variable predictiva de dicha cualidad.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Materiales.

El presente trabajo utiliza información extraída de gráficos "Carga/Deflexión" presentadas en las memorias de título que se indican:

- a) "Determinación de las Propiedades Mecánicas de las especies *Chamaecyparis lawsoniana*, *Cupressus macrocarpa* y *Pinus strobus* crecidas en la Reserva Nacional de Malleco", realizada por Rosendo Avarias L.
- b) "Determinación de las Propiedades Mecánicas de tres especies exóticas, creciendo en la Reserva Forestal Malleco, sector Los Guindos", realizada por Gustavo Gutierrez J. y 
- c) "Determinación de algunas propiedades mecánicas de un rodal de *Pinus radiata* D. Don de 52 años de edad", realizadas por Jorge Clark G. y Carlos Vergara P.

Las mencionadas memorias citadas en la bibliografía, contienen información acabada respecto de la obtención de las probetas, monografías de las especies bajo estudio, tipo de suelo donde se desarrollan, etc.

Para medir el área bajo las curvas de los gráficos carga v/s deformación, se utilizó un planímetro mecánico perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.

3.2 Procedencia de las muestras.

Las muestras de *Pinus radiata* proceden del predio "Pinares" de propiedad de Forestal Mininco S.A., ubicado a 8 Km al Sur de Concepción, en el camino que lleva a la localidad de "Santa Juana". El rodal fue establecido en el año 1941, y los árboles al momento de la corta para obtener las probetas tenían 52 años. Posee una superficie de 4 ha, con una densidad de 564 árboles/ha (Baldini, 1994).

Las seis especies restantes proceden de la Reserva Nacional Malleco. Ubicada en la Cordillera de los Andes a 38° de latitud Sur y 71° 50' de longitud Oeste en la provincia de Malleco, IX Región.

El relieve es montañoso, con alturas que fluctúan entre los 850 y los 1830 metros. Los suelos son derivados de material volcánico y varían de superficial a profundo. La edad promedio de las especies es de 62 años (Avarias, 1995).

3.3 Descripción del ensayo en flexión estática.

La metodología se basa en las prescripciones establecidas según la Norma Chilena N° 987.c72; que, a su vez, está basada en la norma estadounidense ASTM (Gutierrez, 1994).

Los ensayos de flexión estática fueron realizados en una máquina de tipo universal marca INSTRON, con una capacidad máxima de 5.000 Kg.

La probeta para este tipo de ensayo, mantiene la relación 1/14 entre el espesor y su largo. Estas no presentan defectos y sus dimensiones deben ser de 25*25*400 mm. La distancia

entre los cojinetes o soportes de la máquina es de 35 mm, la cual recibe el nombre de “luz”.

La carga se ejerce a una velocidad de 2,5 mm/seg, no variando más allá de un 25 % (Gutierrez, 1994).

Cada ciertos intervalos de carga se anotan las lecturas dadas por un deflectómetro, que es un instrumento de precisión que lee las variaciones producidas en la probeta por acción de la sollicitación o carga. Estas lecturas son traspasadas a un gráfico, donde es trazada una curva representativa del ensayo. Cada probeta arroja un resultado gráfico.

3.4 Metodología de trabajo.

A partir de los gráficos Carga/Deflexión, se procede a medir el área bajo la curva² con un planímetro una vez que se ha fijado el factor de corrección de éste y el factor Q, que representa el trabajo de un cm en el gráfico; ya sea en la ordenada o en la abscisa. Es decir, si un cm en el gráfico representa "x" Kg de carga e "y" cm de deflexión, entonces el factor Q se obtiene por la relación:

$$Q = x y \quad (\text{Kgf-cm por cm}^2)$$

Se mide tres veces por cada gráfico y se obtiene un promedio. El valor de lectura del planímetro se multiplica por el factor de corrección del instrumento y por el factor Q, para el caso de la zona plástica y con ello se obtiene el área en cm². Estas áreas al dividir las por el volumen de la probeta nos arroja resultados de Trabajo elástico y Trabajo

² Se mide sólo en la zona plástica.

plástico; además al adicionar ambos valores se obtiene el Trabajo total en flexión de todas las especies consideradas.

Una vez obtenidos y tabulados los datos, se registran valores de los Parámetros Comparativos del Trabajo en Flexión: Coeficiente de Tetmajer (η); Módulo Plástico de Janka (Z); y Trabajo Específico de Janka (α).

Tanto para los trabajos en flexión, como para los parámetros comparativos, se obtienen medias, desviaciones estándares y coeficientes de variación, para cada especie y cada estado de contenido de humedad (verde y seco).

Se correlacionan las variables de Trabajo en función de la densidad, ancho de anillos de crecimiento y módulo de elasticidad, con regresiones múltiples, considerando las siete especies y sus estados de contenido de humedad. Con ello se establece que es posible a partir de variables relativamente sencillas de medir poder estimar variables que no lo son, en tanto que las piezas deben someterse a ensayos costosos en tiempo y recursos. Para ello se ajustan modelos lineales mediante el programa estadístico SYSTAT recurriendo al método *stepwise* que elige las variables que entran en la regresión y determina la probabilidad de aceptarlas en dichos modelos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resumen de Resultados.

En la Tabla N° 2 se presentan los valores promedios (Med) determinados en el estudio, para estado seco de las probetas ensayadas, según especie. Se incluye, además, valores de desviación estándar (DS) y su correspondiente coeficiente de variación (CV).

TABLA N° 2. Valores Promedios en estado seco para los trabajos en flexión, los parámetros comparativos de trabajo en flexión y otras propiedades mecánicas y físicas de las especies.

Propie- dad	Estadis- tico	Unidad	Especies						
			Ch l	Pi s	Cu m	Pi r	Pi p	Pi o	Cu l
n			21	21	21	30	48	43	40
AAC	Med	mm	3,54	4,95	3,73	4,30	2,74	3,30	1,83
DB	Med	g/cm ³	0,34	0,30	0,34	0,54	0,47	0,42	0,40
MOE	Med	Kg/cm ²	84.980,6	62.301,9	78.068,7	119.555,7	92.633,7	89.589,7	77.914,2
σ	Med	Kg/cm ²	368,6	386,4	380,2	669,3	560,0	534,3	429,1
MOR	Med	Kg/cm ²	742,0	696,8	767,8	1.014,3	838,2	695,5	685,4
θ	Med	grados	2,64	3,40	2,64	2,80	(*)	(*)	(*)
W e	Med	Kgf -cm/cm ³	0,090	0,141	0,106	0,229	0,190	0,182	0,136
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,016	0,046	0,030	0,133	0,026	0,046	0,037
	CV	%	18,2	32,8	28,0	58,0	13,7	25,4	27,4
W p	Med	Kgf -cm/cm ³	0,718	0,539	0,700	0,871	0,597	0,266	0,384
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,163	0,164	0,146	0,286	0,237	0,075	0,206
	CV	%	21,2	30,4	20,9	32,9	39,7	28,0	53,5
W t	Med	Kgf -cm/cm ³	0,808	0,680	0,806	1,100	0,786	0,448	0,520
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,161	0,166	0,153	0,309	0,237	0,104	0,198
	CV	%	18,7	24,4	19,0	28,1	30,2	23,3	38,1
Z	Med	cm/Kgf	0,007	0,008	0,007	0,009	0,007	0,007	0,006
	DS	cm/Kgf	0,001	0,001	0,001	0,005	0,002	0,002	0,002
	CV	%	18,2	14,0	12,0	56,1	21,4	28,0	34,7
α	Med	Kgf	164,759	117,655	143,743	188,511	154,834	127,489	123,957
	DS	Kgf	23,518	18,861	19,680	33,258	19,226	38,114	19,522
	CV	%	14,3	16,0	13,7	17,6	12,4	29,9	15,7
η	Med	adimension	0,741	0,561	0,615	0,664	0,626	0,629	0,578
	DS	adimension	0,115	0,042	0,068	0,044	0,045	0,282	0,044
	CV	%	15,5	7,4	11,0	6,6	7,1	44,8	7,6

(*) No existe información

En la Tabla N° 3 se presentan los valores promedios (Med) determinados en el estudio, para estado verde de las probetas ensayadas, según especie. Se incluye, además, valores de desviación estándar (DS) y su correspondiente coeficiente de variación (CV).

TABLA N° 3. Valores Promedios en estado verde para los trabajos en flexión, los parámetros comparativos de trabajo en flexión y otras propiedades mecánicas y físicas de las especies.

Propiedad	Estadístico	Unidad	Especies						
			Ch l	Pi s	Cu m	Pi r	Pi p	Pi o	Cu l
n			21	21	21	30	44	53	42
AAC	Med	mm	3,34	4,49	3,67	5,12	2,06	3,19	2,00
DB	Med	g/cm ³	0,36	0,28	0,35	0,48	0,46	0,36	0,46
MOE	Med	Kg/cm ²	80.218,8	50.438,9	64.516,9	100.461,7	82.948,9	82.496,8	72.746,6
σ	Med	Kg/cm ²	284,6	204,5	326,7	395,2	281,1	266,4	279,7
MOR	Med	Kg/cm ²	479,7	324,2	507,5	504,3	513,8	448,1	548,4
θ	Med	grados	0,93	1,23	2,26	2,58	(*)	(*)	(*)
W e	Med	Kgf -cm/cm ³	0,058	0,047	0,093	0,088	0,054	0,054	0,060
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,015	0,009	0,017	0,018	0,010	0,018	0,023
	CV	%	26,4	18,4	17,9	20,7	18,2	32,6	38,7
W p	Med	Kgf -cm/cm ³	0,547	0,348	0,405	0,753	0,601	0,333	0,539
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,190	0,067	0,119	0,264	0,170	0,190	0,134
	CV	%	34,7	19,4	29,3	35,1	28,2	56,9	24,9
W t	Med	Kgf -cm/cm ³	0,604	0,395	0,498	0,840	0,656	0,387	0,599
	DS	Kgf -cm/cm ³	0,190	0,070	0,122	0,264	0,169	0,204	0,145
	CV	%	31,4	17,8	24,5	31,4	25,7	52,6	24,2
Z	Med	cm/Kgf	0,016	0,024	0,012	0,041	0,019	0,014	0,010
	DS	cm/Kgf	0,005	0,007	0,003	0,032	0,005	0,005	0,003
	CV	%	30,5	28,7	23,9	77,1	26,7	37,1	34,4
α	Med	Kgf	109,950	74,511	104,325	133,726	90,245	86,138	117,395
	DS	Kgf	25,272	6,803	16,340	17,075	7,220	27,350	12,871
	CV	%	23,0	9,1	15,7	12,8	8,0	31,8	11,0
η	Med	adimension	0,737	0,746	0,669	0,827	0,600	0,607	0,687
	DS	adimension	0,133	0,050	0,076	0,052	0,048	0,129	0,039
	CV	%	18,1	6,7	11,4	6,3	8,0	21,3	5,7

(*) No existe información

Abreviaturas para Tablas 2 y 3:

- Ch l = *Chamaecyparis lawsoniana*
 Pi s = *Pinus strobus*
 Cu m = *Cupressus macrocarpa*
 Pi r = *Pinus radiata*
 Pi p = *Pinus pinaster*

Pi o	=	<i>Picea obovata</i>
Cu l	=	<i>Cupressus lusitanica</i>
Med	=	Media Aritmética
DV	=	Desviación Estandar
CV	=	Coficiente de Variación
θ	=	Grano en Espiral
MOR	=	Módulo de Rotura
σ	=	Esfuerzo en el Límite Proporcional
n	=	Tamaño de la Muestra

4.2 Discusión de cada variable en estudio.

4.2.1 Trabajo elástico (We).

En la Figura N° 3 se representan los valores de Trabajo elástico para las siete especies en estudio en los estados seco y verde.

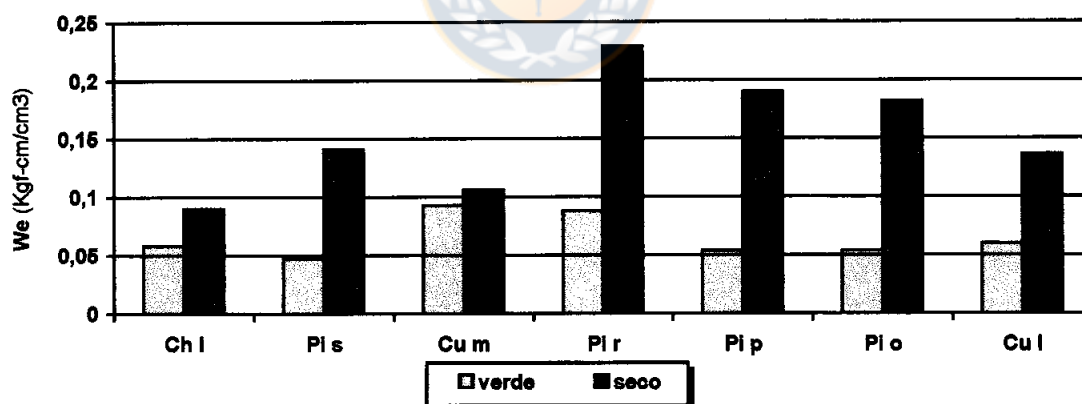


Figura 3. Valores medios del Trabajo elástico (We), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

Cabe hacer notar las importantes diferencias que se observan entre los dos estados en estudio; como por ejemplo variaciones porcentuales³ por sobre el 200 % en tres especies y sobre el 100 % en dos de ellas. (*Pinus pinaster*: 249 %; *Picea obovata*: 236 %; *Pinus strobus*: 200 %; *Pinus radiata*: 161 % y *Cupressus lusitanica*: 125 %). Por el contrario, la especie *Cupressus macrocarpa*, presenta sólo un 14 % de diferencias en sus estados.

Con los valores porcentuales presentados en el párrafo anterior, se aprecia claramente la importancia del secado de la madera desde el punto de vista estructural, ya que las piezas no deben someterse a esfuerzos mayores al límite elástico, pues se deforman.

Para todas las especies, la energía absorbida hasta el límite proporcional mayor en estado seco que en verde.

En la Tabla N° 2, se puede apreciar las tres especies que presentan los máximos valores del Trabajo elástico (We) en forma decreciente: éstas son *Pinus radiata*, *Pinus pinaster* y *Picea obovata*. Los valores del Módulo de Elasticidad (MOE) se presentan en el mismo orden. Esto se explica por que el MOE es un indicador de la Rigidez de la madera, que mide la capacidad de resistir la deformación dentro de la zona elástica.

En estado verde (Tabla N° 3) esta tendencia no es clara, debido a los efectos que presenta la madera en las propiedades mecánicas por los altos contenidos de humedad.

³ Se utiliza como base el valor menor

4.2.2 Trabajo plástico (Wp).

En la Figura N° 4 se representan los valores de Trabajo plástico para las siete especies en estudio en los estados seco y verde.

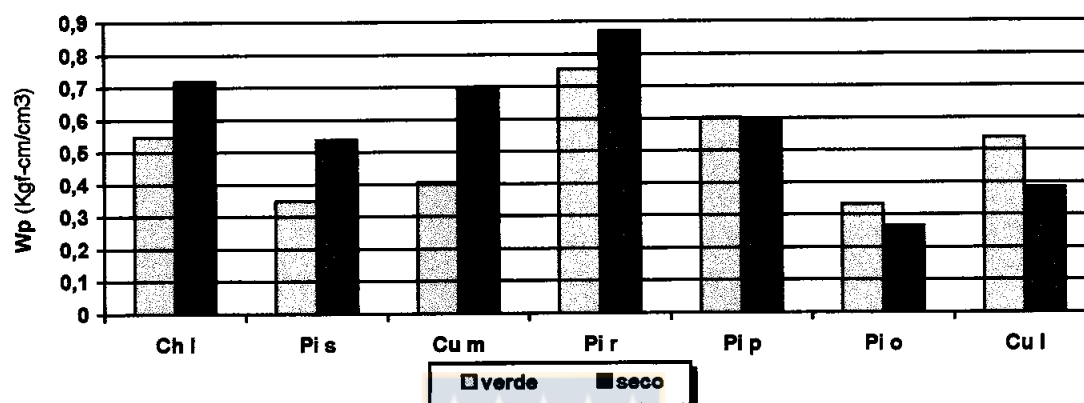


Figura 4. Valores medios del Trabajo plástico (Wp), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

Al observar la diferencias de los estados verde y seco, se puede apreciar que no presentan las mismas magnitudes que el caso anterior (Trabajo elástico). La mayor variación porcentual la presenta la especie *Cupressus macrocarpa*, con un 73 %, seguido de *Pinus strobus* y *Cupressus lusitanica* con 55 % y 40 % respectivamente. A su vez, la especie *Pinus pinaster*, presenta sólo un 0.6 % de diferencias en sus estados de contenido de humedad.

Es interesante destacar además, que en las especies *Cupressus lusitanica* y *Picea obovata*, los valores de la madera verde son mayores a los de la seca; esto quiere decir que la energía absorbida y disipada, en la zona plástica, por éstas probetas en verde es, aparentemente, mayor que en seco. Según Valenzuela⁴, *Cupressus lusitanica* habría sido

⁴ Valenzuela, L. 1996. Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción

utilizada para embarcaciones, respondiendo, de esta forma, al mayor trabajo plástico en estado verde. Es por lo tanto, sugerente pensar que *Picea obovata* también se puede ocupar con estos fines. A su vez, en la Tabla N° 3, *Cupressus lusitanica*, ofrece el mayor valor de Módulo de Ruptura (MOR)

4.2.3 Trabajo total (Wt).

En la Figura N° 5 se representan los valores del Trabajo total de las siete especies en estudio en los estados seco y verde.

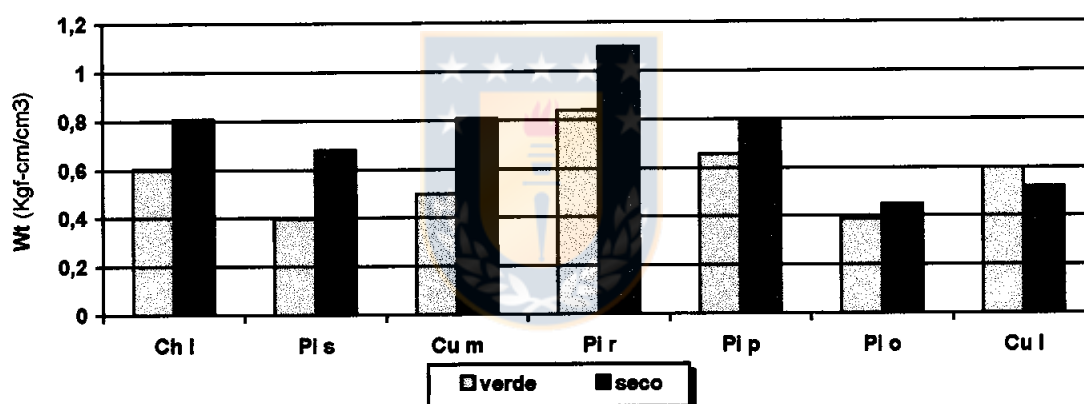


Figura 5. Valores medios del Trabajo total (Wt), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

La cantidad de energía absorbida por éstos materiales hasta el punto de rotura con respecto a sus estados de humedad, presenta sus mayores diferencias porcentuales en las especies: *Pinus strobus* y *Cupressus macrocarpa*, con 72 % y 62 % respectivamente, todos mayores en los estados secos, excepto en *Cupressus lusitanica* que es mayor en el estado verde por un 15 %, que es el valor más bajo junto a *Picea obovata* con un 16 %.

4.2.4 Coefficiente de Tetmajer (η).

En la Figura N° 6 se representan los valores del Coeficiente de Tetmajer para las siete especies en estudio en los estados seco y verde.

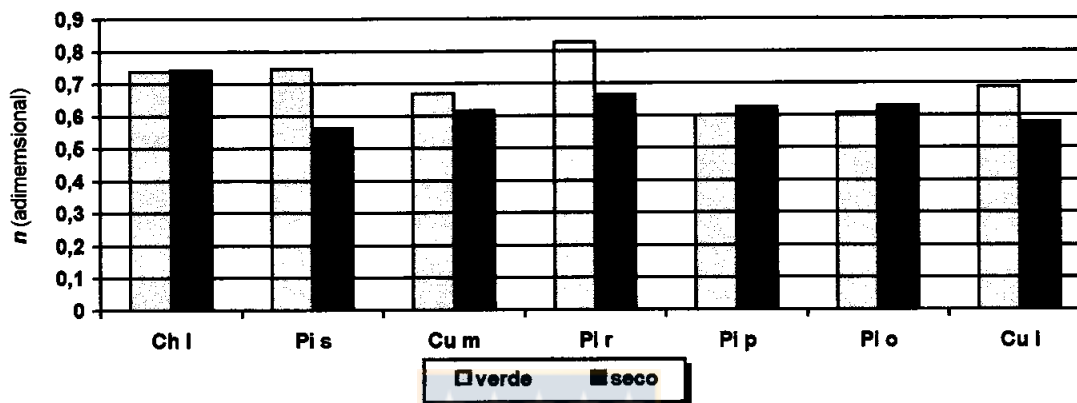


Figura 6. Valores medios del Coeficiente de Tetmajer (η), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

Las diferencias porcentuales mayores las poseen las especies: *Pinus strobus*, *Pinus radiata* y *Cupressus lusitanica*, con 33 %, 25 % y 19 % respectivamente, todos mayores en los estados verdes. Las otras especies no superan diferencias del 10 %; incluso, *Chamaecyparis lawsoniana* presenta sólo un 0.5 % de variación.

El mayor valor lo presenta *Pinus radiata* en estado verde (0.827), seguido de *Pinus strobus*, también verde (0.746). A su vez, los menores se asocian con *Pinus strobus* (0.561) y *Cupressus lusitanica* (0.578). Los demás se encuentran muy cercanos a 0.7.

El valor de *Pinus strobus* se debe, probablemente, al valor de grano en espiral (3.4°), en estado seco (Tabla N° 2). En estado verde, no existe relación con el grano en espiral,

debido a que en este estado, el coeficiente de Tetmajer está influenciado por el contenido de humedad.

4.2.5 Módulo Plástico de Janka (Z).

En la Figura N° 7 se representan los valores del Módulo plástico de Janka para las siete especies en estudio en los estados seco y verde

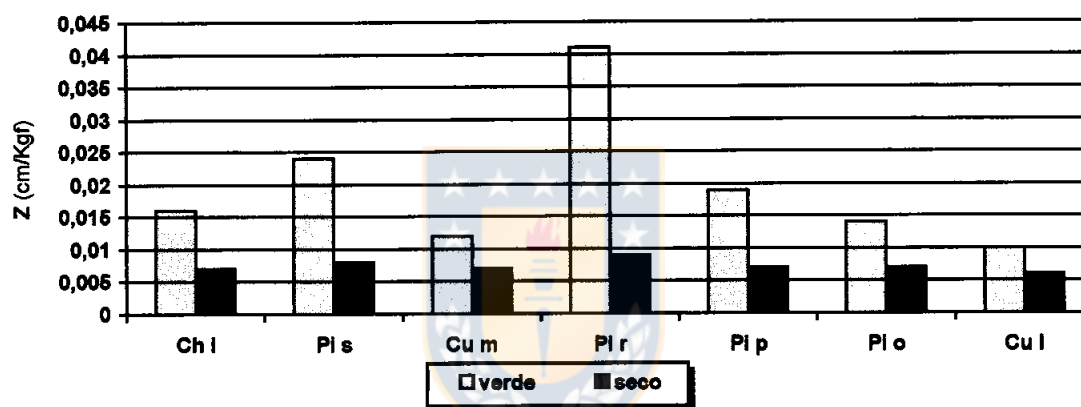


Figura 7. Valores medios del Módulo plástico de Janka (Z), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

Pinus radiata presenta el valor más alto de la plasticidad (0.041 cm/Kgf) representado por el Módulo Z, a su vez, registra la mayor diferencia porcentual de la madera verde con respecto a la seca con un 355 %. Por su parte *Pinus stobus* tiene diferencias de 200 % y secunda a *Pinus radiata* en el valor de éste indicador de plasticidad (0.024 cm/Kgf). Los valores y porcentajes más bajos en forma creciente, los presentan *Cupressus lusitanica* y *Cupressus macrocarpa*.

4.2.6 Trabajo Específico de Janka (α).

En la Figura N° 8 se representan los valores del Trabajo específico de Janka para las siete especies en estudio en los estados seco y verde

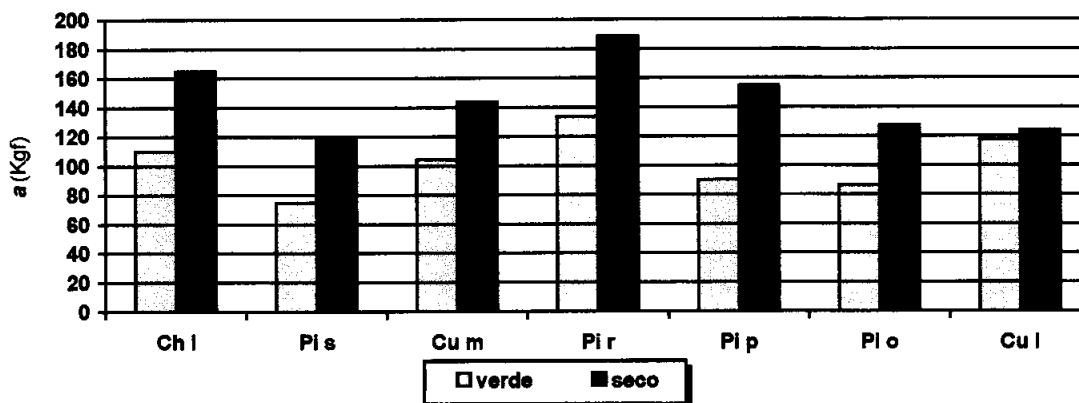


Figura 8. Valores medios del Trabajo específico de Janka (α), en estados seco y verde, para todas las especies en estudio.

Para todas las especies, el estado seco es mayor al verde. Las diferencias mayores se pueden apreciar en *Pinus pinaster* y *Pinus strobus* (72 y 58 %, respectivamente) y la menor en *Cupressus lusitanica* (6 %).

Por el hecho que “a mayor tenacidad, mayor resistencia a la rotura”, *Pinus radiata* presenta la mayor tenacidad; tanto en seco (188,5 Kg) como en verde (133,7 Kg); lo secundan *Chamaecyparis lawsoniana* y *Pinus pinaster*, ambos en seco (164,8 y 154,8 Kg, respectivamente). *Pinus strobus* muestra el valor más bajo (117,6 Kg).

En la Tabla N° 2 se puede observar la relación existente entre éste indicador y su correspondiente Trabajo total (Tt), para las especies *Pinus radiata*, *Chamaecyparis*

lawsoniana, *Pinus pinaster* y *Cupressus macrocarpa* para el estado seco. En estado verde no ocurre tal relación (sólo para *Pinus radiata*).

4.3 Comparaciones porcentuales de Energía en Flexión.

En estado Seco.

En la Figura N° 9 se representan los valores del Trabajo elástico, plástico y total para las siete especies en estudio en seco. En ésta, se aprecia que los mayores valores, los alcanzan las especies: *Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Cupressus macrocarpa* y *Chamaecyparis lawsoniana*. El más bajo lo presenta *Picea obovata*, para trabajo hasta la máxima carga y plástico.

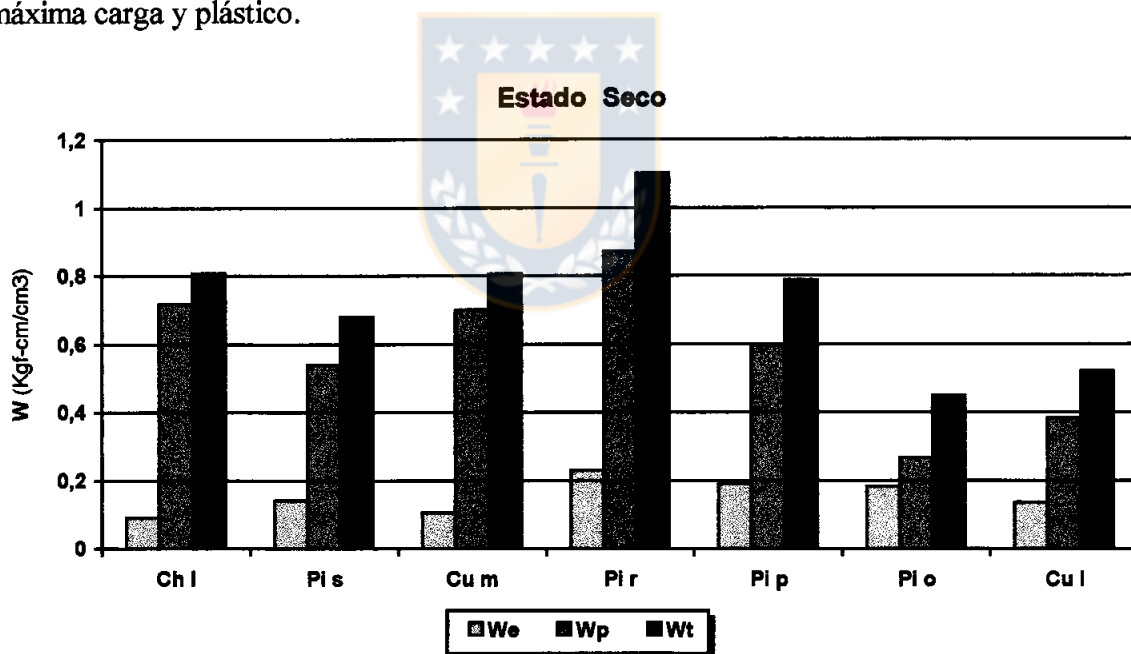


Figura N° 9. Valores medios de los Trabajos en Flexión, en estado seco.

Para el Trabajo total, *Pinus radiata* supera a *Chamaecyparis lawsoniana* y *Cupressus macrocarpa* en un 37 %; a *Pinus pinaster* en un 41 % y a *Picea obovata* en un 145 %.

Para el Trabajo plástico, *Pinus radiata* supera a *Chamaecyparis lawsoniana* y *Cupressus macrocarpa* en un 22 % y a *Picea obovata* en un 227 %.

Para el Trabajo elástico, *Pinus radiata* supera a *Pinus pinaster* en un 20 % y a *Picea obovata* en un 26 % y a *Chamaecyparis lawsoniana* en un 111 %.

En la figura se observa que, la energía ocupada por el material en la fase plástica es considerablemente mayor a la fase elástica en casi todas las especies (excepto en *Picea obovata*), esto quiere decir que al aplicar cargas a un material de madera, gran parte de la energía absorbida se pierde a la forma de calor, es decir entre un 15 y un 40 % de la energía se ocupa en deformación (excepto en *Picea obovata* que ocupa un 75 %).

En estado Verde.

En la Figura N° 10 se representan los valores del Trabajo elástico, plástico y total para las siete especies en estudio en verde. En ésta, visualmente se aprecia que los mayores valores, los alcanzan las especies: *Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Cupressus lusitánica* y *Chamaecyparis lawsoniana*. El más bajo lo presenta *Picea obovata*, para trabajo hasta la máxima carga y plástico.

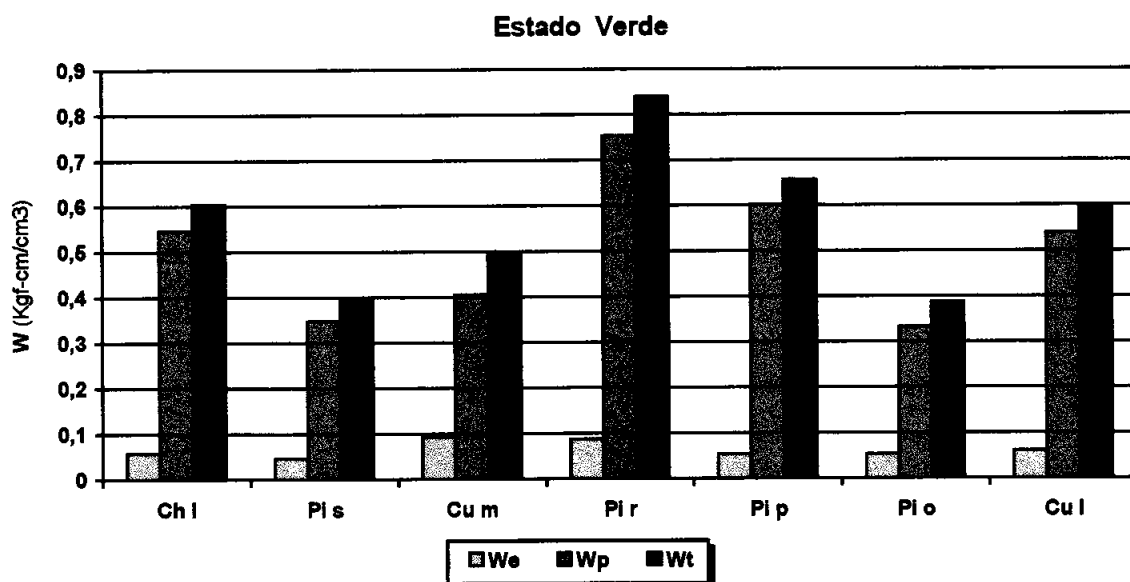


Figura N° 10. Valores medios de los Trabajos en Flexión, en estado verde.

En este estado, *Pinus radiata* supera a *Pinus pinaster* en un 28 % y a *Chamaecyparis lawsoniana* y *Cupressus lusitanica* en un 40 %. El menor valor lo presentan *Picea obovata* y *Pinus strobus*, los que son superados por un 215 %. Esto ocurre tanto para Trabajo total, como para Trabajo plástico.

Para el Trabajo elástico, *Cupressus macrocarpa* supera a *Pinus radiata* en un 6 % y *Pinus strobus* en un 97 %.

En la figura se observa que, la energía ocupada por el material en la fase plástica es considerablemente mayor a la fase elástica en todas las especies. Esto dice relación con la poca capacidad que tiene la madera verde para soportar cargas sin deformarse permanentemente.

4.4 Relaciones.

Los resultados de todas las regresiones efectuadas para los tres tipos de trabajo como variable dependiente, con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y test de Fisher (F), se muestran en las tablas 4 a la 11. Los espacios en blanco indican que el método *stepwise* no detectó variables válidas que expliquen los modelo, además de encontrar grados de significancia distintas de cero que indica el riesgo o la probabilidad de cometer un error al rechazar una variable cuando en realidad es válida. Cada tabla representa a una especie, excepto la Tabla N° 11, que representa la combinación de todas ellas.

TABLA N° 4. Regresión lineal múltiple para *Chamaecyparis lawsoniana*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde Seco	--- We = 0,109 + 0,006 DB	-- 21	-- 0,197	-- 4,38	-- 4,651
Verde Seco	--- Wp = 0,523 + 2,937 DB	-- 21	-- 0,161	-- 4,38	-- 3,634
Verde Seco	--- Wt = 0,521 + 3,089 DB	-- 21	-- 0,178	-- 4,38	-- 4,110

TABLA N° 5. Regresión lineal múltiple para *Cupressus lusitanica*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde Seco	--- We = 0.130 + 7.8 exp-8 MOE + 0.200 AAC	-- 40	-- 0,191	-- 3,25	-- 4,599
Verde Seco	--- Wp = 0.147 - 3.4 exp-6 MOE - 0.016 AAC - 2.515 DB	-- 40	-- 0,458	-- 3,86	-- 6,355
Verde Seco	--- Wt = 0.0001 - 8.1 exp-7 MOE + 2.462 DB	-- 40	-- 0,576	-- 3,25	-- 7,923

TABLA N° 6. Regresión lineal múltiple para *Cupressus macrocarpa*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	---	--	--	--	--
Seco	We = 0.203 - 5.8 exp-7 MOE + 0.014 AAC	21	0,338	3,55	4,585
Verde	---	--	--	--	--
Seco	Wp = 0.241 + 4.4 exp-7 MOE + 0.081 AAC	21	0,274	3,55	3,392
Verde	---	--	--	--	--
Seco	Wt = 0.472 + 0.089 AAC	21	0,169	4,38	3,851

TABLA N° 7. Regresión lineal múltiple para *Picea obovata*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	We = 0.138 + 9.5 exp-7 MOE - 0.008 AAC - 0.244 DB	53	0,191	2,56	3,863
Seco	We = 0.255 - 5.5 exp-8 MOE	43	0,108	4,07	4,941
Verde	Wp = 0.804 + 6.1 exp-6 MOE + 0.063 AAC - 2.717 DB	53	0,548	2,56	19,805
Seco	Wp = 0.611 - 3.7 exp-6 MOE - 0.022 AAC	43	0,232	3,23	6,037
Verde	Wt = 0.942 + 6.7 exp-6 MOE + 0.071 AAC - 2.961 DB	53	0,544	2,56	19,452
Seco	Wt = 0.088 - 3.1 exp-7 MOE - 0.025 AAC	43	0,289	3,23	8,138

TABLA N° 8. Regresión lineal múltiple para *Pinus pinaster*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	We = 0.093 + 7.2 exp-6 MOE	44	0,451	4,07	3,444
Seco	---	--	--	--	--
Verde	Wp = 0.007 + 3.5 exp-5 MOE + 1.803 DB	44	0,243	3,22	6,662
Seco	Wp = 0.523 + 2.937 DB	48	0,161	4,05	3,634
Verde	Wt = 0.078 - 8.3 exp-5 MOE + 1.822 DB	44	0,267	3,22	7,461
Seco	Wt = 0.521 + 3.089 DB	48	0,178	4,05	4,110

TABLA N° 9. Regresión lineal múltiple para *Pinus radiata*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	---	--	--	--	--
Seco	---	--	--	--	--
Verde	---	--	--	--	--
Seco	$Wp = 0.976 - 4.9 \exp^{-6} MOE + 2.612 DB$	30	0,373	3,35	8,033
Verde	---	--	--	--	--
Seco	$Wt = 0.606 + 3.114 DB$	30	0,319	3,35	13,137

TABLA N° 10. Regresión lineal múltiple para *Pinus strobus*, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	$We = 0.044 + 0.327 AAC$	21	0,177	4,38	4,097
Seco	---	--	--	--	--
Verde	---	--	--	--	--
Seco	$Wp = 0.492 + 5.6 \exp^{-4} MOE - 0.060 AAC$	21	0,426	3,55	6,678
Verde	---	--	--	--	--
Seco	$Wt = 0.681 - 8.1 \exp^{-5} MOE + 0.060 AAC$	21	0,335	3,55	4,537

TABLA N° 11. Regresión lineal múltiple para todas las especies, considerando We, Wp y Wt en estados verde y seco

Estado	Regresión	n	r²	Fc	Fm
Verde	$We = 0.044 + 0.327 AAC$	232	0,128	3,03	16,739
Seco	$We = 0.032 - 8.3 \exp^{-6} MOE + 0.006 AAC + 0.362 DB$	224	0,160	2,65	13,961
Verde	$Wp = -0.326 + 5.8 \exp^{-6} MOE + 0.033 AAC + 1.335 DB$	232	0,340	2,65	39,069
Seco	$Wp = -0.148 + 6.6 \exp^{-5} MOE + 0.040 AAC + 0.649 DB$	224	0,209	2,65	19,402
Verde	$Wt = -0.317 + 7.2 \exp^{-5} MOE + 0.036 AAC + 1.442 DB$	232	0,269	2,65	42,258
Seco	$Wt = -0.115 + 9.5 \exp^{-6} MOE + 0.046 AAC + 1.011 DB$	224	0,266	2,65	26,606

Al realizar un recuento de la participación de las variables independientes en los modelos de regresión, se tiene por resultado que MOE participa en 17 regresiones y AAC y DB en 14 cada una. Esto no representa marcada preferencia en variables predictivas de energía

en flexión. Tampoco se aprecia una marcada diferencia en los estados. En algunas especies, sin embargo, es notoria la preferencia por una o dos variables, que se repiten en los tres trabajos considerados.

Cabe hacer mención, que los bajos valores de los coeficientes de determinación (el más alto alcanzó a 0.57) se deben al tamaño muestral, ya sea en número de probetas, número de árboles y otras consideraciones en el tipo de muestreo. La cantidad de árboles elegidos para los ensayos fluctuó entre 3 a 8 dependiendo de la especie. Las razones de esto se debe, fundamentalmente, a cuestiones de costos, cantidad de árboles totales y situación espacial de ellos.



V. CONCLUSIONES

1. Se observa que *Pinus radiata* posee los más altos valores, para el estado seco con respecto a las seis especies restantes referido a trabajo elástico, trabajo plástico y trabajo total. La misma situación se observa en estado verde, salvo en Trabajo elástico, donde es superada, levemente, por *Cupressus macrocarpa*.
2. Las especies presentan mejores valores en trabajo en flexión en estado seco, a excepción de *Cupressus lusitánica*.
3. Con respecto a plasticidad y tenacidad, *Pinus radiata*, presenta los más altos valores, en sus dos estados de contenido de humedad. *Chamaecyparis lawsoniana* y *Pinus pinaster* también presentan altos valores de tenacidad en estado seco; *Pinus strobus* el más bajo.
4. *Pinus radiata* en su estado seco y verde presenta los mejores valores de clase estructural, lo siguen *Pinus pinaster* y *Picea obovata*, ambos en estado seco. Por lo tanto es recomendable incluir estas especies en posteriores estudios de resistencias mecánicas estáticas. Por el contrario, *Pinus strobus* junto a las Cupressaceas presentan los valores más bajos en sus dos estados de humedad, lo que las hace poco atractivas desde el punto de vista estructural.
5. Las relaciones no entregan ajustes satisfactorios, ya que, si bien es cierto, el valor de F es significativo, los de R^2 , en contados casos superan el 50 %.
6. No se observa preferencia en cuanto a la elección de una variable más predictiva, sin embargo, algunas especie prefieren una o dos variables bien establecidas.

VI. RESUMEN Y SUMMARY

6.1 Resumen

Se determinó el Trabajo en Flexión Estática (Trabajo elástico (W_e), Trabajo plástico (W_p) y Trabajo total (W_t)) en estado verde (30%) y seco (12%) de las especies *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parlat., *Pinus strobus* L., *Pinus pinaster* Ait., *Cupressus macrocarpa* Hartw., *Cupressus lusitanica* Mill. y *Pinus radiata* D. Don. Todas coníferas exóticas crecidas en Chile, con edades entre 52 y 62 años. Se determinó, también, los Parámetros Comparativos del Trabajo en Flexión Estática (Coeficiente de Tetmajer (η); Módulo Plástico de Janka (Z) y Trabajo Específico de Janka (α)).

Además, se correlacionó el Módulo de Elasticidad (MOE), Ancho de Anillos de Crecimiento (ACC) y Densidad Básica (DB), como predictivas de las variables de Trabajo en Flexión. Las relaciones no entregaron ajustes satisfactorios, ya que, si bien es cierto, el valor de F es significativo, los de R^2 , en contados casos superan el 50 %.

Se observa que *Pinus radiata* posee los más altos valores, para el estado seco con respecto a las seis especies restantes, referido a Trabajo elástico, plástico y total. La misma situación se observa en estado verde, salvo en Trabajo elástico, donde es superada, levemente, por *Cupressus macrocarpa*.

Con respecto a plasticidad y tenacidad, *Pinus radiata*, presenta los más altos valores, en sus dos estados de contenido de humedad. *Chamaecyparis lawsoniana* y *Pinus pinaster* también presentan altos valores de tenacidad en estado seco; *Pinus strobus* el más bajo.

6.2 Summary

It was determined that the Statical Bending Work (elastic work (W_e), plastic work (W_p) and work to maximum load (W_t)) in a dry (12%) and green (30%) stage of *Picea obovata* Ledeb., *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parlat., *Pinus strobus* L., *Pinus pinaster* Ait., *Cupressus macrocarpa* Hartw., *Cupressus lusitanica* Mill. y *Pinus radiata* D. Don. The Comparative parameters of work in bending (Tetmajer's coefficients (η); Janka plastic modulus (Z) and Janka specific work (α)) were determined for all of Chile's exotic introduced conifers grown in Chile between the age of 52 - 62 years.

Furthermore, was correlated to Moduli of Elasticity (MOE), Annual Ring Width (AAC) and Basic Density (DB) as predictors of bending work variables. The relationships had no correlation since the F-value of the R^2 (coefficient of determination) was greater than 50 %.

According to the elastic work, plastic work and work to maximum load, it was observed that *Pinus radiata* had the highest value for the dry stage in comparison to the other species. The same situation was observed during the green stage, except in elastic work, where it was highest for *Cupressus macrocarpa*.

Pinus radiata indicates the highest plasticity and values in its moisture content stage. *Chamaecyparis lawsoniana* and *Pinus pinaster* indicates the highest values of toughness in a dry stage, whereas *Pinus strobus* had the lowest.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- AVARIAS, R., 1995. Determinación de las Propiedades Mecánicas de las especies Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Parl.; Cupressus macrocarpa Hartw. y Pinus strobus l. crecidas en la Reserva Nacional de Malleco. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile.
- 2.- BALDINI, J., 1994. Análisis del Crecimiento de un rodal adulto de Pinus radiata D. Don. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Silvicultura. Concepción, Chile.
- 3.- BISSO, G., 1982. Propiedades Mecánicas y Físicas asociadas de 8 especies del género Eucaliptus. Tesis de grado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Santiago . Chile.
- 4.- BROWN, H., A. PANSHIN and C. FORSAITH, 1952, Texbook of WoodTechnology. M^CGraw - Hill Book Company, INC. Volume II. USA.
- 5.- CLARK, J. y C. VERGARA, 1994. Determinación de algunas Propiedades Mecánicas de un rodal de Pinus radiata de 52 años de edad. Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en maderas. Concepción, Chile.

- 6.- DIAZ-VAZ, J. y H. CUEVAS, 1982. Ensayos Mecánicos de la madera. Publicación Docente N° 8. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.
- 7.- DIAZ-VAZ, J. y H. CUEVAS, 1986. Mecánica de la madera. Publicación Docente N° 23. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.
- 8.- FERNANDEZ-GOLFIN, J. y M. DIEZ, 1994. Influencia de la Anchura del Anillo de crecimiento en la Densidad y otras Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera Estructural de Diversas Especies. Centro de Investigación Forestal (CIFOR - INIA). Vol 3 (2). pp 211-219, Madrid, España.
- 9.- FOULGER, A., 1952. Clases Prácticas sobre las Propiedades de la Madera. Departamento de Agricultura de EE.UU. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. México/B. Aires.
- 10.- GUTIERREZ, G., 1994. Determinación de las Propiedades Mecánicas de tres especies exóticas, creciendo en la Reserva Forestal Malleco, Sector Los Guindos. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile.
- 11.- HIDGON, A., E. OHLSEN and S. WILLIAM, 1962. Mecánica Aplicada a la Resistencia de los Materiales. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- 12.- INFOR, 1991. Manual de Construcción en Madera N° 10. Vol. 1. Segunda Edición. Santiago. Chile.

- 13.- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, 1986. Nch 1990 of 86. Madera. Tensiones admisibles para madera estructural, Santiago, Chile.
- 14.- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, 1988. Nch 176/2. Madera. Determinación de la Densidad, Santiago, Chile.
- 15.- KOLLMAN, F. y A. COTE, 1968. Principles of Wood Science and Technology. Vol. 1, N° 1, Solid Wood. Springer - Verlag, Berlín, Alemania.
- 16.- 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.
- 17.- PANSHIN, A. and C. ZEEUW, 1980. Structure, Identification, Propieties, and Uses of the commercial woods of the United State and Canada. Textbook of Wood Technology. Fourth Edition. M^C Graw-Hill. New York. USA.
- 18.- PEREZ, V., 1981. Manual de Construciones en Madera. Departamento Contruccionen en Madera, Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- 19.- PEREZ, V., 1983. Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas. Investigación y Desarrollo Forestal. Documento de trabajo N° 47, Conaf. Santiago, Chile.
- 20.- SLOANE, A., 1966. Resistencia de Materiales. Unión Tipográfica Editorial Hispano América. México.

- 21.- SPULER, H., 1973. Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de 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.
- 22.- TORRICELLI, E., 1937. Estudio anatómico de las maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización, Santiago, Chile.
- 23.- TORRICELLI, E., 1941. Propiedades físicas y mecánicas de las maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización, Santiago, Chile.
- 24.- VALENZUELA, L. and Y. NAKAYAMA, 1991. The Bending Work of Radiata Pine Grown in Chile. *Mokusai Gakkaishi*. Vol. 37, N° 5. Japan.
- 25.- WALDFOR, G., 1991. Mechanical proprieties. In Kininmonth L. 1991. *Propierties and uses of New Zealand Radiata Pine*, Vol. 1, Cap. 6: Wood Propierties. FRI. New Zealand.

VIII. APENDICES



A. Tablas de cálculos de todos los valores obtenidos

A continuación se entregan 14 tablas con los valores de los cálculos realizados para obtener los resultados finales. Estas tablas están separadas por especie y estado de contenido de humedad de las probetas ensayadas.



Espece: Pinus radiata Verde

Nº	Problema	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10	A.11	A.12	A.13	A.14	A.15	A.16	A.17	A.18	A.19	A.20	A.21	A.22	A.23	A.24	A.25	A.26	A.27	A.28	A.29	A.30	A.31	A.32	A.33	A.34	A.35	A.36	A.37	A.38	A.39	A.40	A.41	A.42	A.43	A.44	A.45	A.46	A.47	A.48	A.49	A.50	A.51	A.52	A.53	A.54	A.55	A.56	A.57	A.58	A.59	A.60	A.61	A.62	A.63	A.64	A.65	A.66	A.67	A.68	A.69	A.70	A.71	A.72	A.73	A.74	A.75	A.76	A.77	A.78	A.79	A.80	A.81	A.82	A.83	A.84	A.85	A.86	A.87	A.88	A.89	A.90	A.91	A.92	A.93	A.94	A.95	A.96	A.97	A.98	A.99	A.100	A.101	A.102	A.103	A.104	A.105	A.106	A.107	A.108	A.109	A.110	A.111	A.112	A.113	A.114	A.115	A.116	A.117	A.118	A.119	A.120	A.121	A.122	A.123	A.124	A.125	A.126	A.127	A.128	A.129	A.130	A.131	A.132	A.133	A.134	A.135	A.136	A.137	A.138	A.139	A.140	A.141	A.142	A.143	A.144	A.145	A.146	A.147	A.148	A.149	A.150	A.151	A.152	A.153	A.154	A.155	A.156	A.157	A.158	A.159	A.160	A.161	A.162	A.163	A.164	A.165	A.166	A.167	A.168	A.169	A.170	A.171	A.172	A.173	A.174	A.175	A.176	A.177	A.178	A.179	A.180	A.181	A.182	A.183	A.184	A.185	A.186	A.187	A.188	A.189	A.190	A.191	A.192	A.193	A.194	A.195	A.196	A.197	A.198	A.199	A.200	A.201	A.202	A.203	A.204	A.205	A.206	A.207	A.208	A.209	A.210	A.211	A.212	A.213	A.214	A.215	A.216	A.217	A.218	A.219	A.220	A.221	A.222	A.223	A.224	A.225	A.226	A.227	A.228	A.229	A.230	A.231	A.232	A.233	A.234	A.235	A.236	A.237	A.238	A.239	A.240	A.241	A.242	A.243	A.244	A.245	A.246	A.247	A.248	A.249	A.250	A.251	A.252	A.253	A.254	A.255	A.256	A.257	A.258	A.259	A.260	A.261	A.262	A.263	A.264	A.265	A.266	A.267	A.268	A.269	A.270	A.271	A.272	A.273	A.274	A.275	A.276	A.277	A.278	A.279	A.280	A.281	A.282	A.283	A.284	A.285	A.286	A.287	A.288	A.289	A.290	A.291	A.292	A.293	A.294	A.295	A.296	A.297	A.298	A.299	A.300	A.301	A.302	A.303	A.304	A.305	A.306	A.307	A.308	A.309	A.310	A.311	A.312	A.313	A.314	A.315	A.316	A.317	A.318	A.319	A.320	A.321	A.322	A.323	A.324	A.325	A.326	A.327	A.328	A.329	A.330	A.331	A.332	A.333	A.334	A.335	A.336	A.337	A.338	A.339	A.340	A.341	A.342	A.343	A.344	A.345	A.346	A.347	A.348	A.349	A.350	A.351	A.352	A.353	A.354	A.355	A.356	A.357	A.358	A.359	A.360	A.361	A.362	A.363	A.364	A.365	A.366	A.367	A.368	A.369	A.370	A.371	A.372	A.373	A.374	A.375	A.376	A.377	A.378	A.379	A.380	A.381	A.382	A.383	A.384	A.385	A.386	A.387	A.388	A.389	A.390	A.391	A.392	A.393	A.394	A.395	A.396	A.397	A.398	A.399	A.400	A.401	A.402	A.403	A.404	A.405	A.406	A.407	A.408	A.409	A.410	A.411	A.412	A.413	A.414	A.415	A.416	A.417	A.418	A.419	A.420	A.421	A.422	A.423	A.424	A.425	A.426	A.427	A.428	A.429	A.430	A.431	A.432	A.433	A.434	A.435	A.436	A.437	A.438	A.439	A.440	A.441	A.442	A.443	A.444	A.445	A.446	A.447	A.448	A.449	A.450	A.451	A.452	A.453	A.454	A.455	A.456	A.457	A.458	A.459	A.460	A.461	A.462	A.463	A.464	A.465	A.466	A.467	A.468	A.469	A.470	A.471	A.472	A.473	A.474	A.475	A.476	A.477	A.478	A.479	A.480	A.481	A.482	A.483	A.484	A.485	A.486	A.487	A.488	A.489	A.490	A.491	A.492	A.493	A.494	A.495	A.496	A.497	A.498	A.499	A.500
1	I 3F1 D1 1	20.590	1.990	241.222	281.802	2.50	0.42	110	98	2.060	12	0.1733	104.721	0.8220	1.3333	41.29	16.19	2.49	2.56	35	222.233	0.0028	1.0064	1.1781	60.976.00	4.80	0.420	317.78	358.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2	I 3F1 D1 2	25.870	1.888	180.153	205.823	1.30	0.34	180	151	0.960	38	0.0246	158.325	0.8333	1.0000	41.30	16.32	2.55	2.53	35	226.803	0.1137	0.7078	0.9115	115.276.41	3.50	0.550	485.99	811.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3	I 3F3 B1 1	21.440	1.877	202.186	223.855	1.80	0.32	180	134	1.280	28	0.0482	138.772	0.8738	1.0000	42.78	16.71	2.56	2.56	35	228.480	0.0028	0.8850	0.8788	104.915.31	2.80	0.480	420.98	502.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
4	I 3F3 B1 2	18.890	1.875	178.105	204.843	1.30	0.34	180	152	0.960	38	0.0253	137.649	0.8207	1.0000	43.12	16.84	2.57	2.56	35	230.272	0.1122	0.8850	1.1136.26	2.20	0.520	473.78	562.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
5	I 4F3 C1 1	25.840	1.875	99.794	107.854	1.00	0.48	150	82	0.540	66	0.0079	107.854	0.7177	1.0000	43.45	16.91	2.56	2.57	35	230.272	0.0819	0.3859	0.4875	43.970.44	3.20	0.420	254.81	485.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
6	I 4F3 C1 2	27.720	2.028	183.807	221.327	1.40	0.36	190	154	1.040	38	0.0289	156.061	0.8321	1.0000	44.85	17.24	2.57	2.59	35	232.971	0.1190	0.8310	0.8600	102.890.42	3.00	0.480	488.97	578.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
7	I 4F3 C1 3	28.275	1.758	187.558	195.833	1.30	0.38	180	145	0.810	38	0.0280	160.840	0.8068	1.0000	42.85	16.78	2.56	2.56	35	229.378	0.1233	0.7205	0.8538	92.787.12	3.20	0.550	453.74	583.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
8	II D1 B2	31.730	2.588	245.056	276.786	1.50	0.36	220	197	1.120	53	0.0211	184.512	0.8087	1.0000	48.52	17.56	2.62	2.56	35	237.303	0.1036	1.0317	1.1863	103.484.77	0.30	0.580	488.88	657.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
9	II 2F3 D1	23.880	1.771	168.988	182.898	2.20	0.32	180	148	1.860	42	0.0448	87.572	0.4689	1.0000	43.45	16.97	2.59	2.56	35	232.084	0.1020	0.7282	0.8302	114.087.02	3.80	0.490	457.78	687.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
10	II 2F3 A2 1	15.000	2.310	185.629	210.629	1.80	0.25	130	120	1.550	10	0.1950	117.163	0.8014	0.9889	41.44	16.19	2.47	2.68	35	231.312	0.0878	0.8853	1.0531	124.156.23	4.80	0.540	386.18	421.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
11	II 2F3 A2 2	25.280	2.224	282.882	308.232	2.00	0.32	180	158	1.680	22	0.0784	154.116	0.8582	1.3333	44.48	17.17	2.56	2.58	35	232.084	0.1098	1.2183	1.3282	116.980.42	4.10	0.550	483.03	550.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12	III 3C1 C1 1	15.810	1.180	112.686	128.408	1.10	0.31	150	102	0.790	48	0.0185	116.732	0.7782	1.0000	42.85	16.78	2.56	2.56	35	228.378	0.0889	0.8809	0.8889	82.116.05	5.20	0.380	318.18	489.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
13	III 3C1 C1 2	21.000	1.721	145.871	168.871	1.40	0.35	140	120	1.050	20	0.0525	119.285	0.8518	1.0000	43.08	16.64	2.48	2.89	35	232.071	0.0834	0.9483	0.9427	85.281.82	5.70	0.430	378.89	441.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
14	III 3C1 C1 3	25.200	1.234	117.748	142.848	1.10	0.38	160	140	0.740	20	0.0370	128.983	0.8122	1.0000	43.78	17.04	2.58	2.57	35	232.071	0.1068	0.8074	0.8100	94.181.07	9.30	0.350	431.32	484.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
15	III 3F3 A1 1	28.380	1.878	178.108	207.878	1.60	0.43	160	132	1.170	28	0.0418	128.737	0.8108	1.0000	43.82	16.87	2.57	2.57	35	231.172	0.1228	0.7782	0.8978	78.425.31	4.30	0.440	408.28	484.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
16	III 3F3 A1 2	22.440	1.448	138.284	180.704	1.30	0.33	150	138	0.870	14	0.0883	123.818	0.8241	1.0000	45.00	17.37	2.59	2.59	35	234.784	0.0968	0.8989	0.8845	98.188.03	5.80	0.390	410.98	453.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
17	III 3F3 A1 3	16.000	1.780	208.731	224.731	1.90	0.32	140	100	1.890	40	0.0385	118.280	0.8449	1.2500	42.81	16.85	2.54	2.86	35	227.584	0.0703	0.8172	0.8875	78.883.28	5.30	0.420	315.38	441.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
18	III 4F1 B2 1	21.390	2.068	248.780	288.170	1.70	0.31	180	138	1.380	42	0.0331	157.747	0.8784	1.2500	44.88	17.31	2.58	2.80	35	232.980	0.0818	1.0583	1.1911	108.047.77	4.40	0.520	418.85	548.07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
19	III 4F1 B2 2	19.320	1.540	148.847	188.287	1.10	0.28	160	138	0.820	52	0.0158	151.152	0.7855	1.0000	41.30	16.28	2.52	2.54	35	224.028	0.0882	0.6558	0.7422	127.827.38	4.10	0.520	445.83	613.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
20	III 4F3 C1 1	18.100	2.448	207.834	223.734	1.80	0.28	140	115	1.520	25	0.0808	124.267	0.8678	0.9888	42.81	16.71	2.57	2.55	35	228.373	0.0702	0.9082	0.8754	100.307.15	5.70	0.490	341.28	438.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
21	III 4F3 C1 2	19.885	2.087	248.827	288.822	1.80	0.31	170	128	1.480	41	0.0383	149.401	0.8788	1.2500	44.31	17.17	2.58	2.58	35	232.874	0.0868	1.0885	1.1543	100.888.44	5.00	0.480	384.36	519.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
22	III 4F3 C2 1	21.855	2.328	221.847	243.882	1.50	0.31	160	141	1.190	48	0.0243	162.535	0.8584	1.0000</																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Especie: Pinus pinaster Verde

№	Problema	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58	A59	A60	A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	A81	A82	A83	A84	A85	A86	A87	A88	A89	A90	A91	A92	A93	A94	A95	A96	A97	A98	A99	A100	A101	A102	A103	A104	A105	A106	A107	A108	A109	A110	A111	A112	A113	A114	A115	A116	A117	A118	A119	A120	A121	A122	A123	A124	A125	A126	A127	A128	A129	A130	A131	A132	A133	A134	A135	A136	A137	A138	A139	A140	A141	A142	A143	A144	A145	A146	A147	A148	A149	A150	A151	A152	A153	A154	A155	A156	A157	A158	A159	A160	A161	A162	A163	A164	A165	A166	A167	A168	A169	A170	A171	A172	A173	A174	A175	A176	A177	A178	A179	A180	A181	A182	A183	A184	A185	A186	A187	A188	A189	A190	A191	A192	A193	A194	A195	A196	A197	A198	A199	A200	A201	A202	A203	A204	A205	A206	A207	A208	A209	A210	A211	A212	A213	A214	A215	A216	A217	A218	A219	A220	A221	A222	A223	A224	A225	A226	A227	A228	A229	A230	A231	A232	A233	A234	A235	A236	A237	A238	A239	A240	A241	A242	A243	A244	A245	A246	A247	A248	A249	A250	A251	A252	A253	A254	A255	A256	A257	A258	A259	A260	A261	A262	A263	A264	A265	A266	A267	A268	A269	A270	A271	A272	A273	A274	A275	A276	A277	A278	A279	A280	A281	A282	A283	A284	A285	A286	A287	A288	A289	A290	A291	A292	A293	A294	A295	A296	A297	A298	A299	A300	A301	A302	A303	A304	A305	A306	A307	A308	A309	A310	A311	A312	A313	A314	A315	A316	A317	A318	A319	A320	A321	A322	A323	A324	A325	A326	A327	A328	A329	A330	A331	A332	A333	A334	A335	A336	A337	A338	A339	A340	A341	A342	A343	A344	A345	A346	A347	A348	A349	A350	A351	A352	A353	A354	A355	A356	A357	A358	A359	A360	A361	A362	A363	A364	A365	A366	A367	A368	A369	A370	A371	A372	A373	A374	A375	A376	A377	A378	A379	A380	A381	A382	A383	A384	A385	A386	A387	A388	A389	A390	A391	A392	A393	A394	A395	A396	A397	A398	A399	A400	A401	A402	A403	A404	A405	A406	A407	A408	A409	A410	A411	A412	A413	A414	A415	A416	A417	A418	A419	A420	A421	A422	A423	A424	A425	A426	A427	A428	A429	A430	A431	A432	A433	A434	A435	A436	A437	A438	A439	A440	A441	A442	A443	A444	A445	A446	A447	A448	A449	A450	A451	A452	A453	A454	A455	A456	A457	A458	A459	A460	A461	A462	A463	A464	A465	A466	A467	A468	A469	A470	A471	A472	A473	A474	A475	A476	A477	A478	A479	A480	A481	A482	A483	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509	A510	A511	A512	A513	A514	A515	A516	A517	A518	A519	A520	A521	A522	A523	A524	A525	A526	A527	A528	A529	A530	A531	A532	A533	A534	A535	A536	A537	A538	A539	A540	A541	A542	A543	A544	A545	A546	A547	A548	A549	A550	A551	A552	A553	A554	A555	A556	A557	A558	A559	A560	A561	A562	A563	A564	A565	A566	A567	A568	A569	A570	A571	A572	A573	A574	A575	A576	A577	A578	A579	A580	A581	A582	A583	A584	A585	A586	A587	A588	A589	A590	A591	A592	A593	A594	A595	A596	A597	A598	A599	A600	A601	A602	A603	A604	A605	A606	A607	A608	A609	A610	A611	A612	A613	A614	A615	A616	A617	A618	A619	A620	A621	A622	A623	A624	A625	A626	A627	A628	A629	A630	A631	A632	A633	A634	A635	A636	A637	A638	A639	A640	A641	A642	A643	A644	A645	A646	A647	A648	A649	A650	A651	A652	A653	A654	A655	A656	A657	A658	A659	A660	A661	A662	A663	A664	A665	A666	A667	A668	A669	A670	A671	A672	A673	A674	A675	A676	A677	A678	A679	A680	A681	A682	A683	A684	A685	A686	A687	A688	A689	A690	A691	A692	A693	A694	A695	A696	A697	A698	A699	A700	A701	A702	A703	A704	A705	A706	A707	A708	A709	A710	A711	A712	A713	A714	A715	A716	A717	A718	A719	A720	A721	A722	A723	A724	A725	A726	A727	A728	A729	A730	A731	A732	A733	A734	A735	A736	A737	A738	A739	A740	A741	A742	A743	A744	A745	A746	A747	A748	A749	A750	A751	A752	A753	A754	A755	A756	A757	A758	A759	A760	A761	A762	A763	A764	A765	A766	A767	A768	A769	A770	A771	A772	A773	A774	A775	A776	A777	A778	A779	A780	A781	A782	A783	A784	A785	A786	A787	A788	A789	A790	A791	A792	A793	A794	A795	A796	A797	A798	A799	A800	A801	A802	A803	A804	A805	A806	A807	A808	A809	A810	A811	A812	A813	A814	A815	A816	A817	A818	A819	A820	A821	A822	A823	A824	A825	A826	A827	A828	A829	A830	A831	A832	A833	A834	A835	A836	A837	A838	A839	A840	A841	A842	A843	A844	A845	A846	A847	A848	A849	A850	A851	A852	A853	A854	A855	A856	A857	A858	A859	A860	A861	A862	A863	A864	A865	A866	A867	A868	A869	A870	A871	A872	A873	A874	A875	A876	A877	A878	A879	A880	A881	A882	A883	A884	A885	A886	A887	A888	A889	A890	A891	A892	A893	A894	A895	A896	A897	A898	A899	A900	A901	A902	A903	A904	A905	A906	A907	A908	A909	A910	A911	A912	A913	A914	A915	A916	A917	A918	A919	A920	A921	A922	A923	A924	A925	A926	A927	A928	A929	A930	A931	A932	A933	A934	A935	A936	A937	A938	A939	A940	A941	A942	A943	A944	A945	A946	A947	A948	A949	A950	A951	A952	A953	A954	A955	A956	A957	A958	A959	A960	A961	A962	A963	A964	A965	A966	A967	A968	A969	A970	A971	A972	A973	A974	A975	A976	A977	A978	A979	A980	A981	A982	A983	A984	A985	A986	A987	A988	A989	A990	A991	A992	A993	A994	A995	A996	A997	A998	A999	A1000
1	P1 A2 I	11.460	1.486	142.900	154.360	1.48	0.28	125	82	1.200	43	0.0278	104.311	0.6345	1	40.41	16.00	2.51	2.53	35	218.821	0.0518	0.0642	0.8600	0.8642	0.8600	77.665.96	1.73	0.420	269.02	410.06	534.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
2	P1 A2 II	12.760	1.434	138.000	149.560	1.28	0.29	156	86	1.970	68	0.0143	116.698	0.7600	1	38.21	15.38	2.49	2.48	35	221.621	0.0596	0.0617	0.8980	0.8917	0.8980	85.123.66	1.76	0.435	300.48	532.64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	P2 B1 I	11.590	1.690	162.000	173.560	1.92	0.34	113	86	1.990	45	0.0351	90.346	0.8000	1	38.83	15.56	2.50	2.50	35	218.313	0.0530	0.0421	0.7650	0.7650	0.7650	55.210.80	5.50	0.436	228.40	361.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	P2 B1 II	13.920	1.622	154.000	168.720	1.60	0.32	137	87	1.280	50	0.0256	105.450	0.7697	1	40.49	16.07	2.53	2.52	35	223.146	0.0624	0.0637	0.7651	0.7651	0.7651	71.978.59	3.75	0.478	264.29	447.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
5	P2 B1 III	13.860	1.835	175.100	188.790	1.82	0.37	123	74	1.850	40	0.0316	88.328	0.7984	1	38.08	15.35	2.50	2.48	35	218.586	0.0632	0.0665	0.8717	0.8717	0.8717	56.331.14	8.55	0.461	253.17	420.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
6	P3 A2 I	14.760	1.647	157.200	171.960	1.38	0.34	170	67	1.040	83	0.0125	124.630	0.7351	1	38.52	16.47	2.50	2.49	35	217.439	0.0680	0.0720	0.7910	0.7910	0.7910	71.205.88	2.14	0.461	295.26	578.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
7	P3 A2 II	17.360	1.823	178.900	195.860	1.68	0.37	115	84	1.710	21	0.0338	86.767	0.7721	1	38.26	15.41	2.50	2.48	35	217.003	0.0601	0.0617	0.4419	0.4419	0.4419	71.124.72	2.11	0.398	320.31	361.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
8	P3 A2 III	14.526	1.947	187.700	202.226	1.82	0.35	125	83	1.970	42	0.0374	105.326	0.8428	1	40.48	16.07	2.53	2.52	35	223.146	0.0651	0.0642	0.8062	0.8062	0.8062	62.791.55	1.87	0.398	244.71	408.48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
9	P3 A2 IV	12.854	1.854	160.600	173.180	1.34	0.34	111	74	1.000	37	0.0270	94.445	0.7688	1	38.85	15.88	2.52	2.51	35	221.382	0.0588	0.0604	0.4544	0.4544	0.4544	56.543.04	2.02	0.398	244.71	367.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
10	P3 A2 V	14.675	1.681	160.400	173.278	1.47	0.35	158	85	1.120	74	0.0161	119.235	0.7488																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Especie: Cupressus lusitanica Verde

Nº	Problema	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58	A59	A60	A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	A81	A82	A83	A84	A85	A86	A87	A88	A89	A90	A91	A92	A93	A94	A95	A96	A97	A98	A99	A100	A101	A102	A103	A104	A105	A106	A107	A108	A109	A110	A111	A112	A113	A114	A115	A116	A117	A118	A119	A120	A121	A122	A123	A124	A125	A126	A127	A128	A129	A130	A131	A132	A133	A134	A135	A136	A137	A138	A139	A140	A141	A142	A143	A144	A145	A146	A147	A148	A149	A150	A151	A152	A153	A154	A155	A156	A157	A158	A159	A160	A161	A162	A163	A164	A165	A166	A167	A168	A169	A170	A171	A172	A173	A174	A175	A176	A177	A178	A179	A180	A181	A182	A183	A184	A185	A186	A187	A188	A189	A190	A191	A192	A193	A194	A195	A196	A197	A198	A199	A200
1	C1 A3 II	18.500	1.094	63.900	102.430	1.04	0.37	160	60	0.670	70	0.0096	108.154	0.6635	1	40.87	16.13	2.50	2.52	3.6	35	222.264	0.0008	0.0742	0.4226	0.4987	63.941.90	1.08	0.526	202.98	520.80																																																																																																																																																																										
2	C1 A3 III	13.530	1.456	138.900	112.430	1.28	0.33	190	80	0.960	97	0.0108	119.096	0.7047	1	40.33	16.00	2.52	2.54	3.6	35	222.264	0.0008	0.0008	0.0349	66.045.30	2.33	0.472	269.01	564.43																																																																																																																																																																											
3	C1 A3 IV	12.245	1.259	120.200	132.345	1.10	0.31	190	70	0.790	111	0.0071	120.314	0.6332	1	39.69	15.98	2.54	2.53	3.6	35	222.264	0.0051	0.0051	0.0051	66.028.52	2.03	0.484	261.28	628.35																																																																																																																																																																											
4	C1 B3 II	12.015	1.062	103.200	115.215	0.87	0.27	175	80	0.700	86	0.0081	118.778	0.8787	1	42.43	16.77	2.62	2.53	3.6	35	222.264	0.0518	0.0518	0.0518	63.273.64	1.43	0.412	278.62	621.23																																																																																																																																																																											
5	C1 B3 III	12.000	0.336	32.100	44.100	0.59	0.30	138	90	0.290	59	0.0050	74.745	0.5416	1	44.12	16.97	2.51	2.60	3.6	35	228.410	0.0525	0.1426	0.1426	64.791.66	0.69	0.423	247.53	428.98																																																																																																																																																																											
6	C2 A3	23.985	0.525	50.100	73.665	0.72	0.39	175	121	0.330	54	0.0081	102.354	0.5649	1	40.01	15.96	2.50	2.52	3.6	35	228.500	0.1070	0.2272	0.2272	63.123.40	0.89	0.394	400.13	578.70																																																																																																																																																																											
7	C3 B1	23.100	0.787	73.200	98.300	0.92	0.42	162	110	0.500	62	0.0086	104.874	0.6461	1	40.80	16.25	2.56	2.51	3.6	35	228.653	0.1019	0.3290	0.3290	66.908.22	1.39	0.426	395.28	523.25																																																																																																																																																																											
8	C4 A2	28.060	0.408	38.900	66.990	0.63	0.52	137	106	0.310	29	0.0107	80.980	0.5690	1	40.01	15.88	2.50	2.52	3.6	35	229.500	0.1273	0.1764	0.1764	65.644.56	1.15	0.428	397.14	483.04																																																																																																																																																																											
9	C4 A3 I	23.400	1.502	143.300	160.700	1.10	0.38	215	130	0.740	65	0.0097	151.545	0.7049	1	43.28	16.70	2.49	2.59	3.6	35	229.719	0.1037	0.6349	0.6349	66.471.94	2.22	0.442	408.61	475.77																																																																																																																																																																											
10	C4 A3 II	24.150	1.214	115.800	138.650	0.98	0.35	204	138	0.810	66	0.0092	145.781	0.7148	1	43.94	16.90	2.50	2.60	3.6	35	227.500	0.1082	0.5900	0.5900	66.162.29	1.69	0.428	428.70	633.73																																																																																																																																																																											
11	C4 A3 III	19.635	1.917	173.400	183.035	1.34	0.33	162	119	1.010	63	0.0160	144.056	0.7915	1	42.28	16.65	2.58	2.54	3.6	35	228.382	0.0856	0.7960	0.7960	61.423.18	2.48	0.426	375.34	574.04																																																																																																																																																																											
12	C4 A3 IV	9.065	0.653	62.300	71.395	0.71	0.23	156	78	0.480	77	0.0062	100.542	0.6445	1	44.48	17.24	2.58	2.56	3.6	35	233.877	0.0368	0.0368	0.0368	62.772.20	0.98	0.481	340.57	478.06																																																																																																																																																																											
13	C5 A2	25.200	1.314	125.400	150.900	1.03	0.36	204	140	0.670	64	0.0105	146.214	0.7167	1	44.48	17.24	2.58	2.58	3.6	35	233.877	0.1077	0.5392	0.5392	63.715.36	1.93	0.488	428.33	621.23																																																																																																																																																																											
14	C5 A3 I	30.375	1.595	169.400	179.775	1.35	0.45	171	135	0.900	36	0.0250	133.187	0.7798	1	40.01	15.98	2.50	2.52	3.6	35	230.500	0.1378	0.6776	0.6776	60.375.91	2.81	0.487	449.43	595.48																																																																																																																																																																											
15	C5 A3 II	9.360	2.012	192.000	201.360	1.57	0.24	156	78	1.330	77	0.0173	128.295	0.8275	1	37.97	15.19	2.47	2.48	3.6	35	214.388	0.0437	0.8965	0.8965	62.464.90	2.84	0.468	289.56	535.66																																																																																																																																																																											
16	C7 B2	22.765	0.858	81.700	104.455	0.82	0.41	180	111	0.510	66	0.0074	113.538	0.6908	1	41.30	16.28	2.52	2.54	3.6	35	224.028	0.1018	0.3947	0.3947	70.271.86	1.63	0.495	398.44	591.25																																																																																																																																																																											
17	C8 B2	19.395	1.079	103.000	116.050	0.99	0.30	175	87	0.690	88	0.0078	161.203	0.7890	1	39.53	15.81	2.53	2.50	3.6	35	221.375	0.0872	1.0051	1.0051	66.133.67	3.37	0.514	388.48	670.87																																																																																																																																																																											
18	C8 C2	20.060	1.715	163.800	183.960	1.25	0.34	194	118	0.910	78	0.0138	146.628	0.7974	1	40.28	16.18	2.61	2.49	3.6	35	237.482	0.0682	0.7192	0.7192	62.322.74	2.55	0.538	382.63	629.39																																																																																																																																																																											
19	C8 A1 I	13.860	1.436	137.000	150.960	1.31	0.33	156	84	0.860	72	0.0138	115.160	0.7382	1	44.30	17.11	2.55	2.56	3.6	35	231.158	0.0900	0.5927	0.5927	61.984.30	2.65	0.513	257.81	478.79																																																																																																																																																																											
20	C8 A1 II	14.900	1.063	101.000	116.200	1.15	0.37	152	80	0.760	72	0.0108	101.043	0.6648	1	47.30	18.05	2.63	2.62	3.6	35	241.171	0.0614	0.4264	0.4264	48.997.37	2.00	0.542	232.64	442.02																																																																																																																																																																											
21	C8 B3	15.035	1.492	142.400	157.435	1.17	0.31	184	97	0.900	87	0.0099	134.590	0.6998	1	40.69	16.08	2.64	2.66	3.6	35	245.784	0.0612	0.5794	0.5794	67.500.24	2.17	0.472	272.62	517.14																																																																																																																																																																											
22	C10 A1	10.140	1.016	98.900	107.040	0.84	0.26	166	78	0.680	86	0.0077	113.872	0.6880	1	42.11	16.45	2.51	2.56	3.6	35	224.898	0.0451	0.4398	0.4398	78.361.03	1.58	0.485	248.94	464.54																																																																																																																																																																											
23	C10 B3	22.500	1.372	130.900	153.400	1.49	0.50	145	90	0.990	55	0.0160	102.953	0.7100	1	41.62	16.39	2.54	2.54	3.6	35	225.808	0.0888	0.5797	0.5797	46.383.42	2.39	0.400	288.34	484.54																																																																																																																																																																											
24	C11 A1	9.180	0.942	89.900	99.090	1.00	0.27	143	68	0.730	75	0.0097	99.080	0.6928	1	39.53	15.75	2.50	2.51	3.6	35	219.625	0.0418	0.4083	0.4083	66.285.44	1.45	0.410	228.86	478.86																																																																																																																																																																											
25	C11 C1 I	7.035	1.222	116.900	123.635	1.00	0.21	185	67	0.700	118	0.0097	123.635	0.6963	1	48.02	18.18	2.61	2.64	3.6	35	241.164	0.0282	0.4835	0.4835	71.211.05	1.58	0.395	193.37	437.93																																																																																																																																																																											
26	C11 C1 II	6.460	1.141	108.900	115.960	1.02	0.19	157	68	0.630	99	0.0093	113.086	0.7204	1	42.28	16.58	2.55	2.55	3.6	35	227.588	0.0284	0.4785	0.4785	90.727.46	1.43	0.439	215.30	497.08																																																																																																																																																																											
27	C11 C1 III	9.100	0.857	91.300	100.400	0.93	0.26	170	70	0.670	100	0.0087	107.957	0.6350	1	44.98	17.50	2.65	2.57	3.6	35	238.368	0.0382	0.3830	0.3830	64.153.98	1.44	0.433	208.98	509.81																																																																																																																																																																											
28	C11 C1 IV	11.455	0.935	89.200	100.655	0.83	0.29	170	79	0.640	91	0.0070	108.231	0.6367	1	41.62	16.39	2.54	2.54	3.6	35	225.808	0.0907	0.3990	0.3990	70.151.73	1.51	0.462	253.10	544.64																																																																																																																																																																											
29	C11 C2 I	11.550	2.013	192.100	203.650	1.77	0.33	150	70	1.440	80	0.0180	115.056	0.7670	1	42.85	16.78	2.56	2.56	3.6	35	229.376	0.0584	0.6375	0.6375	52.938.10	3.05	0.438	218.05	489.39																																																																																																																																																																											
30	C11 C2 II	11.465	1.380	103.600	115.055	1.00	0.29	175	79	0.710	86	0.0074	115.055	0.6575	1	41.82	16.39	2.54	2.54	3.6	35	225.808	0.0507	0.4588	0.4588	70.151.73	1.99	0.439	233.10	500.99																																																																																																																																																																											
31	C11 C2 III	9.360	1.070	138.700	149.090	1.05	0.24	165	78	0.810	117	0.0098	133.390	0.6641	1	39.66	15.83	2.50	2.50	3.6	35	218.750	0.0428	0.5875	0.5875	89.180.00	1.93	0.471	262.08</																																																																																																																																																																												

B. Gráficos de todas las especies en estado verde y seco

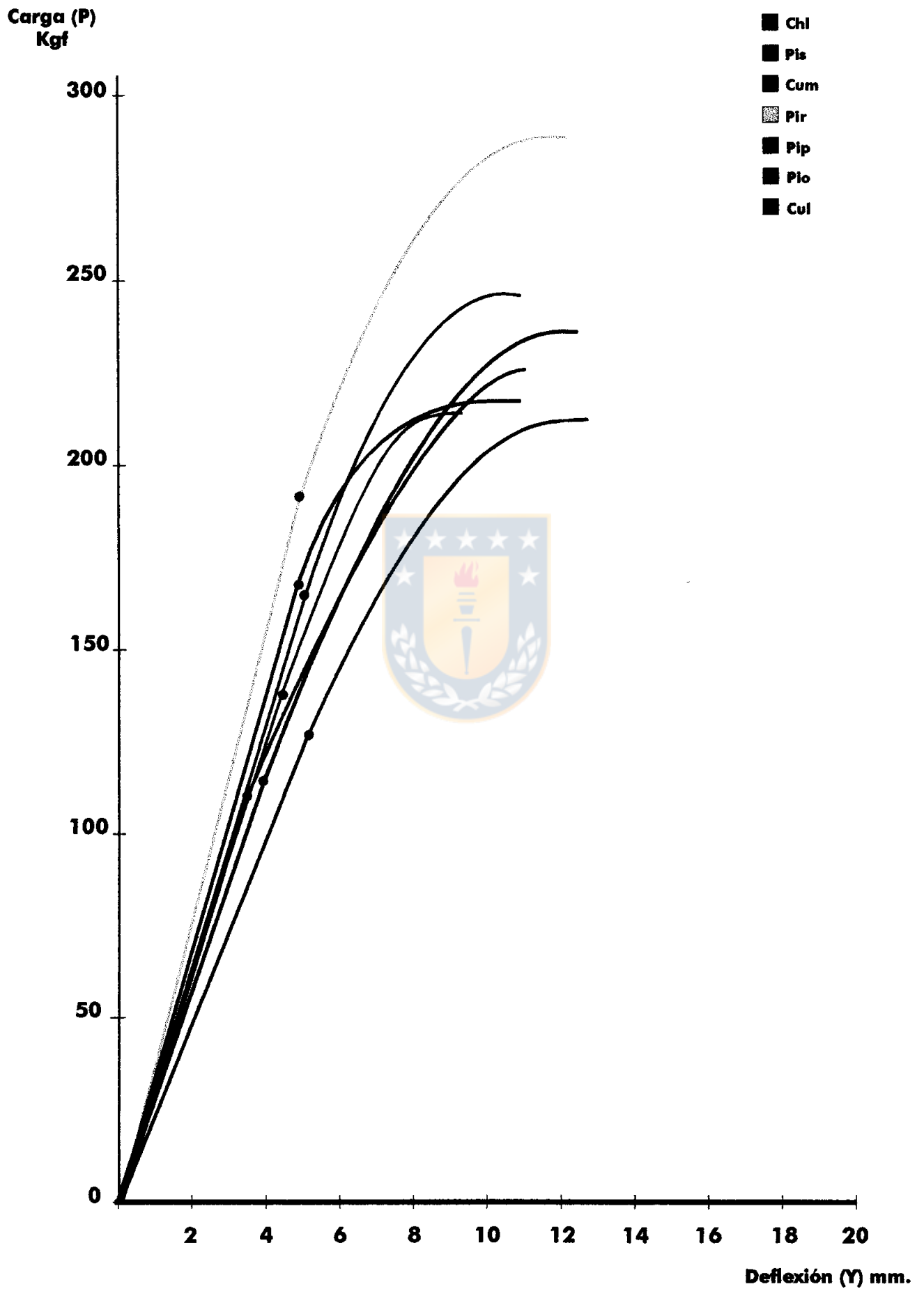
Se muestra la gráfica promedio de cada especie en sus dos estados de contenido de humedad, con el propósito de observar la tendencia de cada una y realizar comparaciones visuales de sus comportamientos mecánicos.

El punto negro de cada gráfica, indica el límite de proporcionalidad. El trazo termina en su límite de rotura.



GRAFICOS CARGA-DEFLEXION PARA TODAS LAS ESPECIES

Estado Seco

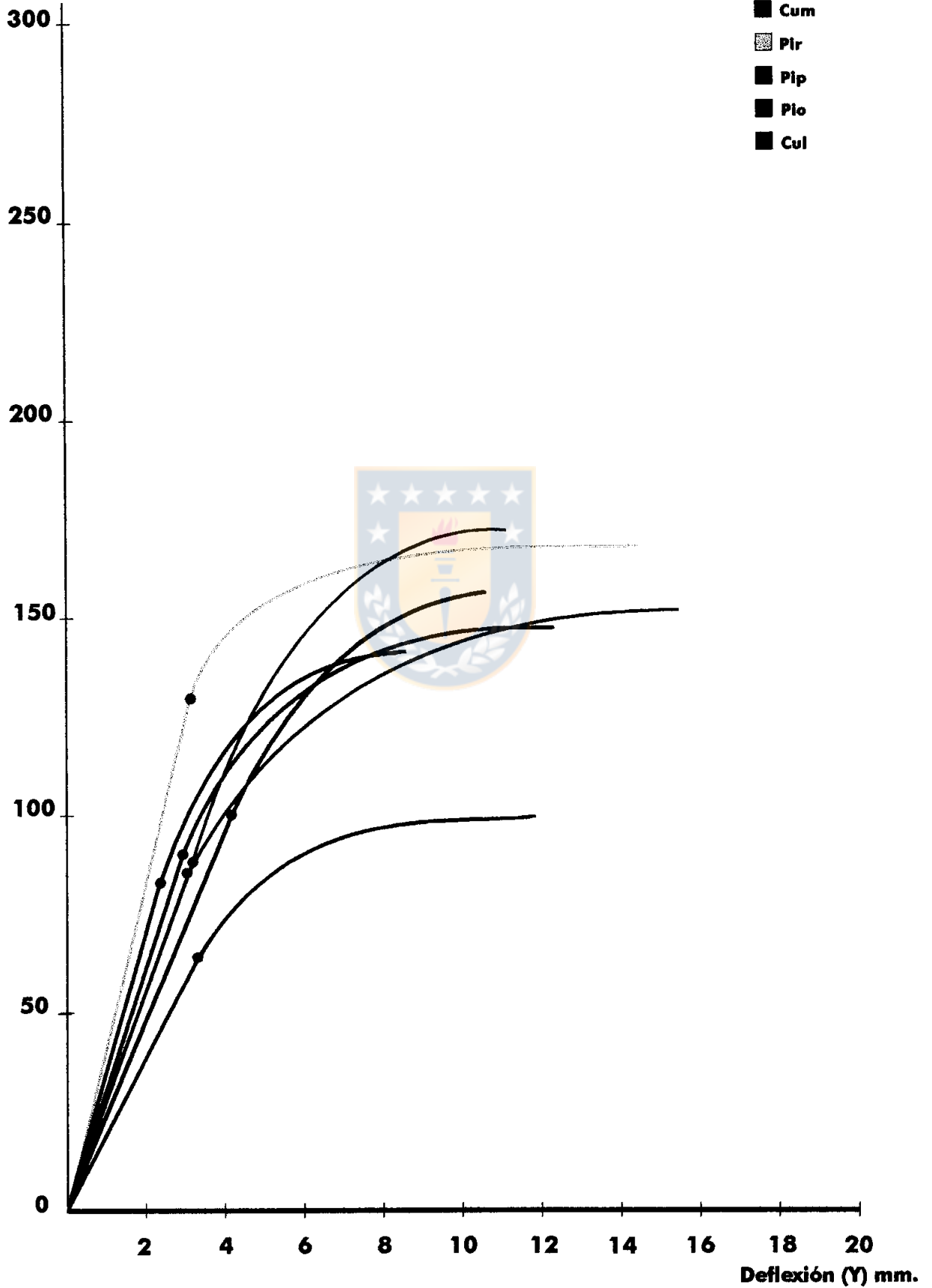


GRAFICOS CARGA-DEFLEXION PARA TODAS LAS ESPECIES

Estado Verde

Carga (P)
Kgf

- Chl
- Pis
- Cum
- ▨ Pir
- Pip
- Pio
- Cul



C. Grado de Significancia de las Variables independientes

En las Tablas 1 a la 8, se muestra el grado de significancia de cada variable independiente. Esto indica el riesgo de cometer un error al rechazar una variable cuando es cierta. En general, se puede apreciar que si el grado de significancia es menor a 0.05, entonces se acepta la variable, pues se le considera incidente.

TABLA N° 1B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Chamaecyparis lawsoniana*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.984	0.291
	AAC	0.863	0.906
	DB	0.044	0.255
Wp	MOE	0.472	0.985
	AAC	0.504	0.501
	DB	0.502	0.072
Wt	MOE	0.449	0.889
	AAC	0.642	0.502
	DB	0.535	0.057

TABLA N° 2B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Cupressus lusitanica*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.112	0.551
	AAC	0.014	0.231
	DB	0.531	0.669
Wp	MOE	0.000	0.000
	AAC	0.126	0.000
	DB	0.000	0.000
Wt	MOE	0.000	0.000
	AAC	0.000	0.000
	DB	0.590	0.000

TABLA N° 3B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Cupressus macrocarpa*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.033	0.285
	AAC	0.098	0.559
	DB	0.842	0.198
Wp	MOE	0.072	0.982
	AAC	0.070	0.691
	DB	0.419	0.904
Wt	MOE	0.187	0.903
	AAC	0.065	0.640
	DB	0.242	0.770

TABLA N° 4B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Picea obovata*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.032	0.111
	AAC	0.646	0.082
	DB	0.646	0.010
Wp	MOE	0.003	0.000
	AAC	0.031	0.037
	DB	0.927	0.000
Wt	MOE	0.000	0.000
	AAC	0.035	0.028
	DB	0.813	0.000

TABLA N° 5B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Pinus pinaster*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.291	0.000
	AAC	0.906	0.938
	DB	0.255	0.499
Wp	MOE	0.985	0.111
	AAC	0.501	0.771
	DB	0.072	0.002
Wt	MOE	0.889	0.057
	AAC	0.502	0.764
	DB	0.057	0.001

TABLA N° 6B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Pinus radiata*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.454	0.385
	AAC	0.339	0.164
	DB	0.865	0.219
Wp	MOE	0.125	0.289
	AAC	0.757	0.967
	DB	0.005	0.205
Wt	MOE	0.246	0.262
	AAC	0.001	0.880
	DB	0.464	0.175

TABLA N° 7B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para la especie *Pinus strobus*.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.246	0.217
	AAC	0.843	0.755
	DB	0.482	0.057
Wp	MOE	0.009	0.273
	AAC	0.111	0.598
	DB	0.910	0.791
Wt	MOE	0.034	0.360
	AAC	0.142	0.572
	DB	0.943	0.974

TABLA N° 8B. Grados de significancia de las variables independientes MOE, AAC y DB; correspondientes a las variables dependientes We, Wp y Wt, para todas las especies.

Variable dependiente	Variable independiente	Estado de humedad	
		seco	verde
We	MOE	0.844	0.957
	AAC	0.183	0.055
	DB	0.873	0.777
Wp	MOE	0.009	0.273
	AAC	0.111	0.398
	DB	0.010	0.191
Wt	MOE	0.034	0.260
	AAC	0.142	0.072
	DB	0.153	0.174

IX. ANEXOS



A. Correspondencia de cada especie a su Clase Estructural

En la Tabla siguiente, se pretende establecer correspondencias a la clase estructural a la que pertenecen las especies en estudio. Esto basado en las tensiones admisibles y al módulo de elasticidad (MOE).

Se entiende por tensión admisible la carga por unidad de superficie que puede soportar elásticamente un elemento de madera (INN, 1986).

Tensiones admisibles y MOE con la asignación de cada especie a su correspondiente clase estructural.

Clase Estructural	Tensión admisible en flexión (MPa)	MOE en flexión (Mpa)	Especie / estado	
			seco	verde
f 34	34.5	18150		
f 27	27.5	15000		
f 22	22.0	12600	P. radiata	
f 17	17.0	10000		P. radiata
f 14	14.0	9100	P. obovata P. pinaster	
f 11	11.0	7900	C. lusitanica C. macrocarpa Ch. lawsoniana	P. pinaster P. obovata Ch. lawsoniana
f 8	8.6	6900		C. lusitanica
f 7	6.9	6100	P. strobus	C. macrocarpa
f 5	5.5	5500		
f 4	4.3	5000	P. strobus	
f 3	3.4	4600		
f 2	2.8	4350		

En esta tabla se visualiza que las maderas con mayor clase estructural son *Pinus radiata*, *Pinus pinaster* y *Picea obovata*, y la de más baja clase es *Pinus strobus*. Cabe mencionar que los estados secos superan de una a dos clases estructurales, salvo *Chamaecyparis lawsoniana* que se iguala en sus estados de contenido de humedad.

B. Usos de las maderas en estudio

Cupressus macrocarpa: Esta madera es medianamente densa, de grano fino, aromática y muy durable. Es muy nudosa, pero cuando no presenta nudos puede ser utilizada en embarcaciones, muebles, ebanistería y revestimientos exteriores.

Chamaecyparis lawsoniana: Tiene el duramen de color café amarillento, de fina textura, generalmente de fibra recta y agradable fragancia, es moderadamente liviana, dura, moderadamente firme y fuerte, y medianamente resistente al golpe y a la pudrición. Se la emplea en construcciones, casas, embarcaciones, postes, puertas, asientos de estadios, revestimientos interiores.

Pinus strobus: La madera es de color blanco amarillento, liviana, moderadamente suave, de baja resistencia mecánica y al impacto. La madera nudosa se utiliza en contenedores y embalajes, mientras que la de calidad en molduras. Otros usos son: bastidores, puertas, muebles, ataúdes y paneles.

Pinus pinaster: Es un importante productos de resinas y la mayor cantidad de la madera es obtenida a partir de árboles que has sido resinados. Se la usa en construcción y cajonería. También en la producción de pulpa Kraft.

Picea obovata: La madera tiene colores que van desde el blanco al café amarillento y con brillo natural. Es fácil de trabajar a mano y en carpintería. Se la utiliza para interiores de puertas y y terminaciones de casas, en muebles y cajonería. Es considerada óptima para instrumentos musicales como pianos y violines. También se la utiliza en producción de pulpa y papel, y en la extracción de taninos.

Cupressus lisitanica: Posee una calidad variable, pero generalmente fuerte y duradera, por lo que se la utiliza - con buenos resultados - en construcción, ya que es durable y especialmente buena cuando está en contacto con el suelo. Su uso general es externo. Es fácil de trabajar con herramientas manuales y máquinas. Se seca rápidamente. El duramen es difícil de tratar, presenta respuestas irregulares a la impregnación. También se utiliza para tejas, con una vida útil de 15 años sin tratar y con pocas fallas.

Pinus radiata: Es utilizada en múltiples funciones, desde producción de pulpa mecánica y química, hasta vigas en construcciones, pasando por cajonería, pellets, embalajes, puertas, ventanas, molduras, cerchas, mueblería, forros, paneles, polines, entre otros.

