

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento de Silvicultura

DETERMINACION DEL GRADO DE HINCHAMIENTO  
DE LA MADERA DE Pinus radiata D. DON.  
PROVENIENTE DE UN RODAL DE 52 AÑOS.



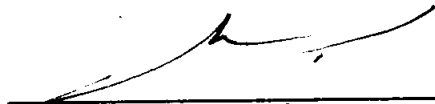
ERIX AQUILES VERGARA SEGUEL

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

CONCEPCION CHILE  
1994

DETERMINACION DEL GRADO DE HINCHAMIENTO DE LA MADERA DE  
Pinus radiata D. DON. PROVENIENTE DE UN RODAL DE 52 AÑOS.


PROFESOR ASESOR



---

Dr. Miguel Espinosa Bancalari  
Ingeniero Forestal  
Profesor Asociado

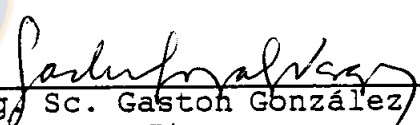

CO-ASESOR



---

Dr. Luis Valenzuela Hurtado  
Ingeniero en Maderas  
Profesor Asociado

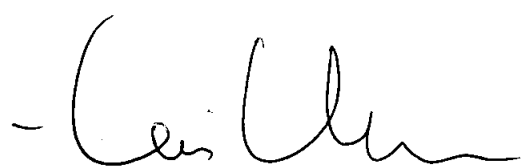
DIRECTOR DEPARTAMENTO  
SILVICULTURA



---

Mg. Sc. Gastón González Vargas  
Ingeniero Agrónomo  
Profesor Titular

DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS FORESTALES



---

Dr. Jaime Millán Herrera  
Ingeniero Forestal  
Profesor Titular

**A mis padres**  
**Aquiles Sergio Vergara Delgado**  
**Gladys Victoria Seguel Nuñez**



## **Agradecimientos**

Deseo expresar mis agradecimientos a quienes han permitido de una u otra forma el desarrollo de esta memoria, en especial:

- A la Sra **Claudia Jara Salmann**, Educadora de Párvulos (mi esposa), por su apoyo en la finalización exitosa de esta tesis.

- Al Sr **Miguel Espinosa Bancalari**, Ingeniero Forestal Ph.D. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales, quien con su continua orientación y apoyo hizo posible terminar con éxito el estudio.

- Al Sr **Roberto Melo Sanhueza**, Ingeniero Civil Químico. Docente del Tecnológico Químico por su importante colaboración y excelente disposición para resolver dudas en el transcurso de esta memoria.

- Al Sr **Luis Valenzuela Hurtado**, Ingeniero en Maderas Ph.D. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales, por su apoyo, cooperación y constante preocupación en el desarrollo de esta memoria para el mejor logro de los objetivos propuestos.

- Al Sr **Jaime García Sandoval**, Ingeniero Forestal, Secretario Académico, por su interés en solucionar los problemas que pudieron suscitarse en el transcurso de esta memoria.

- A la Sra **Kishiko Miyoshi**, por la valiosa ayuda prestada

durante el transcurso del ensayo, ya que siempre tubo la mejor disposición en aclarar cualquier duda así como por sus consejos en el mejor castellano posible para obtener una correcta medición.

- Al Sr **Luis Rosales**, Ingeniero Forestal. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales por brindarme su amistad y colaboración.

- Al Sr **Mauricio Seguel** y Sra **Sandra Montoya** por brindarme todo su apoyo y en especial no poner ninguna dificultad en facilitar su computador.

- Al Sr **Edwin Gribbell**, estudiante de Ingeniería Civil Informática, por su amistad, voluntad y ayuda en la mecanografía del escrito.

- Al Sr **Roy Mayr**, estudiante de Ingeniería Civil Informática, por su amistad y apoyo desinteresado en el transcurso de la tesis facilitando sin ningún reparo su impresora.

- A la **Facultad de Ciencias Forestales** de la **Universidad de Concepción** por todas las facilidades dadas en el transcurso de mis estudios.

- A **Forestal Mininco S.A.** por la donación de las maderas que posibilitaron este estudio.

- Finalmente quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido a la realización de esta tesis.

## INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINAS
I	<b>INTRODUCCION</b> . . . . .	1
II	<b>REVISION BIBLIOGRAFICA</b> . . . . .	1
	2.1 Densidad . . . . .	2
	2.2 Ancho del anillo de crecimiento . . . . .	3
	2.3 Hinchamiento . . . . .	4
	2.4 Hinchamiento volumétrico . . . . .	6
	2.5 Hinchamiento transversal . . . . .	10
	2.6 Fibra espiral . . . . .	15
III	<b>MATERIALES Y METODOS</b> . . . . .	17
	3.1 Procedencia de las maderas y obtención de las probetas . . . . .	17
	3.2 Variables medidas . . . . .	19
	3.3 Análisis de datos . . . . .	20
IV	<b>RESULTADO Y DISCUSION</b> . . . . .	22
	4.1 Densidad seca al aire 12% . . . . .	22
	4.2 Ancho del anillo de crecimiento . . . . .	23
	4.3 Hinchamiento . . . . .	25
	4.4 Hinchamiento y densidad de la madera . . . . .	28
	4.4.1 Hinchamiento volumétrico . . . . .	28

	4.4.2	Hinchamiento para su flujo tangencial y flujo radial con la densidad de la madera . . . . .	30
	4.5	Coefficiente de absorcion . . . . .	32
	4.5.1	Coefficiente de absorcion y densidad de la madera . . . . .	34
	4.6	Fibra espiral . . . . .	37
	4.6.1	Fibra en espiral e hinchamiento de la madera . . . . .	38
	4.6.2	Fibra en espiral y coeficiente de absorcion de la maderas . . . . .	39
V		<b>CONCLUSIONES</b> . . . . .	41
VI		<b>RESUMEN</b> . . . . .	43
		<b>SUMMARY</b> . . . . .	45
VII		<b>BIBLIOGRAFIA</b> . . . . .	47
VIII		<b>APENDICE</b> . . . . .	53
		APENDICE 1 . . . . .	53
		APENDICE 2 . . . . .	58
		APENDICE 3 . . . . .	59
		APENDICE 4 . . . . .	60
		APENDICE 5 . . . . .	62
IX		<b>ANEXO</b> . . . . .	64



## INDICE DE TABLAS

TABLA		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Valores de contracción radial, tangencial y volumétrico en madera de <u>P. radiata</u> . . . .	14
2	Densidad promedio total, para albura y para duramen en madera de <u>P. radiata</u> . . . .	22
3	Ancho del anillo de crecimiento promedio total para albura y para duramen en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	24
4	Hinchamiento promedio para albura, duramen, volumétrico, flujo tangencial y flujo radial en madera de <u>P. radiata</u> . . . .	26
5	Coefficiente de absorción promedio para albura, duramen, flujo tangencial y flujo radial en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	32
6	Fibra en espiral promedio para albura y para duramen en madera de <u>P. radiata</u> . . . .	37
	<u>En el apéndice 3</u>	
1	Ancho del anillo de crecimiento promedio por altura de corte en el fuste para albura y duramen en madera de <u>P. radiata</u> . .	59



## INDICE DE FIGURAS

Figura		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Variación de la densidad desde la médula a la corteza por altura de corte en el fuste en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	23
2	Variación del ancho de anillo de crecimiento desde la médula a la corteza en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	25
3	Variación del hinchamiento para el flujo tangencial(T) y flujo radial(R) desde la médula a la corteza por altura de corte en el fuste para albura y duramen en la madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	28
4	Relación del hinchamiento volumétrico con la densidad para albura y duramen en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	29
5	Relación existente entre el hinchamiento para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para la albura en madera de <u>P. radiata</u> . . .	30
6	Relación existente entre el hinchamiento para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para el duramen en madera de <u>P. radiata</u> . .	31
7	Variación del coeficiente de absorción para el flujo tangencial (T) y flujo radial (R) desde la médula a la corteza por altura de corte en el fuste en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	34
8	Relación existente entre el coeficiente de absorción para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para la albura en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	35
9	Relación existente entre el coeficiente de absorción para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la	

	densidad para el duramen en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	36
10	Variación de la fibra en espiral desde la médula a la corteza en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	38

En el apéndice 1

1	Representación de las diferentes posiciones en que fueron realizados los cortes en los árboles de <u>P. radiata</u> . . . . .	53
---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

En el apéndice 2

2	Marcado de trozos para la obtención de probetas en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	54
3	Cuadratura en sierra circular en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	54
4	Peineta en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	54
5	Cortes con sierra huincha para obtención de peineta en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	55
6	identificación de las semiprobetas en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	55
7	Representación de una probeta de <u>P. radiata</u> con sus caras pintadas . . . . .	55
8	Representación de la posición radial y dirección de flujo en que fueron realizados los cortes en los árboles de <u>P. radiata</u> . . . . .	56
9	Medición de la fibra en espiral en madera de <u>P. radiata</u> . . . . .	57

En el anexo

1	Posición correcta de las probetas ensayadas en la absorción del agua bajo la norma japonesa. . . . .	64
---	------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## I INTRODUCCION

Uno de los fenómenos más comunes en la madera es el hinchamiento, el cual ocurre cuando una madera seca se coloca en condiciones de mayor humedad ambiental y/o menor temperatura. En ambos casos comenzará gradualmente a aumentar su contenido de humedad por efecto de su higroscopicidad y, al mismo tiempo, aumentará sus dimensiones. Por otra parte, el carácter anisotrópico de los tejidos leñosos contribuye a incrementar el efecto del hinchamiento, ya que el aumento de las dimensiones según Stamm (1964), generalmente es entre 1.5 a 2.5 veces mayor en la dirección tangencial que en la dirección radial.

La importancia del estudio del hinchamiento se debe a que conociendo las variables que lo controlan, se puede orientar la utilización de la madera para un mejor aprovechamiento y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Los objetivos de este estudio fueron examinar el grado de hinchamiento y absorción radial y tangencial y variables asociadas (densidad, ancho del anillo de crecimiento, fibra en espiral) para la madera de Pinus radiata D. Don. proveniente de un rodal de 52 años.

## II REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 DENSIDAD

Según Cown (1992a), la densidad de la madera depende de varios factores, muchos de ellos propios de cada especie y otros relacionados con el medio ambiente. Los tipos de células, sus diámetros, el espesor de las paredes y el contenido de extraíbles inciden en la densidad de la madera. Estos a su vez están influenciados por la edad de los árboles y sus interacciones con el medio ambiente. La densidad de la madera normalmente se expresa como la densidad básica, que es el peso de la madera seca (anhidra) por unidad de volumen medido en estado verde.

Prado y Barros (1986), mencionan que la densidad de la madera tiene gran influencia en muchas propiedades y procesos de conversión, incluyendo el aserrío, secado, encolado y en los rendimientos en la fabricación de pulpa y papel.

Cown y McConchie (1980), señalan en un estudio de madera de Pinus radiata D. Don (pino radiata) de 52 años, que la densidad seca al aire (expresada como el peso de la madera por unidad de volumen, al 12% contenido de humedad) disminuye con

la altura, con excepción de la densidad verde (expresado como el peso de la madera por unidad de volumen fresco o saturado) que aumenta con ésta. Observaron también que la densidad básica aumenta desde la médula a la corteza, concordando con lo obtenido por Cown (1980) para la misma especie.

## 2.2 ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO

Según Cown (1992a), el pino radiata es internacionalmente reconocido como una conífera de rápido crecimiento, alcanzando en Nueva Zelanda un ancho de anillo de 15 a 20 mm, y en casos excepcionales, estos superan los 50 mm.

Los efectos de la razón de crecimiento sobre las propiedades de la madera ha sido, y continúan siendo un tópico polémico, como lo sugieren Senft et al. (1985) y Nicholls and Brown (1973). De acuerdo con Cown (1992a), el conocimiento convencional es que anillos de crecimiento anchos son sinónimo que la calidad de la madera es pobre. En la mayoría de los casos y, particularmente en rodales no manejados, la mayor anchura de los anillos está dentro de los 10 cm desde la médula (zona central del fuste), que es una región de baja densidad (madera juvenil) como es reportado por Senft et al. (1985) y Cown (1992b). Investigaciones realizadas por Cown (1972,

1973), sobre los efectos de los espaciamientos por raleos han establecido que donde hay una respuesta medible en las propiedades de la madera esta es generalmente pequeña y de corta duración; en algunos casos, ha sido observado que cambios dramáticos en el ancho de los anillos tienen un pequeño efecto sobre la densidad de la madera (Cown 1992a).

### 2.3 HINCHAMIENTO

El hinchamiento es un fenómeno inverso a la contracción, o sea, una madera seca que se pone en condiciones de mayor humedad ambiental y/o menor temperatura, comenzará gradualmente a aumentar su contenido de humedad por efecto de su higroscopicidad y, al mismo tiempo, aumentará sus dimensiones.

Para fines prácticos se puede asumir, sin gran error, que la curva de hinchamiento es la misma que para la contracción. Cuando la madera alcanza de nuevo la humedad correspondiente al punto de saturación de las fibras, sus dimensiones tienden a ser las mismas que tenía originalmente, es decir, en el estado verde (Pérez, 1984).

Según Rossen (1974) citado por Ananías (1986), el proceso

de saturación de líquido en madera seca bajo el punto de saturación de la fibra ha sido poco estudiado en aspectos tales como el mecanismo que gobierna el movimiento y su distribución. Basado en las investigaciones de Stamm y Petering (1940) citados por Ananías (1986), se advierten tres formas mediante las cuales la madera puede ser penetrada por una solución líquida :

- 1.- Por mojado de la superficie de la madera con la solución.
- 2.- Por capilaridad.
- 3.- Por difusión a través de las paredes celulares.

Banks (1973), concluyó que en la albura de P. sylvestris el hinchamiento tangencial se obtiene a las 2.2 horas de inmersión en cubos de madera de 25 mm.

Stamm (1960, 1961) citado por Ananías (1986), efectúa mediciones del coeficiente de difusión cuando el tiempo de absorción es de dos tercios del total, porque sobre ese punto la concentración en el centro de la madera comienza a cambiar variando la pendiente de la curva de absorción de agua versus tiempo.

Banks (1973), señala que existen distorsiones en el grado de hinchamiento de la madera durante el proceso de inmersión debido a la alta tasa de penetración radial, lo que limita la validez del método para fines comparativos.

#### 2.4 HINCHAMIENTO VOLUMETRICO

La teoría desarrollada para explicar en forma simple el fenómeno de hinchamiento se fundamenta, según Siau (1984), en dos hipótesis:

1.- Se supone que los lúmenes de las células no alteran su tamaño cuando absorben o pierden agua. 2.- Para todas las maderas se supone que el contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra es constante.

Stamm y Loughborough (1942) citados por Maclean (1944) y Chafe (1986), sugieren que la cavidad celular permanece esencialmente constante cuando la madera se contrae o hincha.

Quirk (1984) citado por Skaar (1988), encontró que el lumen celular de las células de la madera de Pseudotsuga menziesii (pino oregón) se expandía de alguna manera durante la contracción de la madera de primavera, mientras que el de la



madera de verano se contraía. La razón de este comportamiento no es conocida, pero está probablemente relacionada con el grosor relativo, hinchamiento, orientación fibrilar y dureza de las capas de las paredes celulares. Quirk interpreta sus resultados en pino oregón, aseverando que la rica cantidad de lignina en la lamela central es más efectiva en reducir la contracción de la madera de primavera que en las paredes gruesas de la madera de verano.

Según Skaar (1988), la hinchazón volumétrica ( $S_{vf}$ ) puede ser estimada por la siguiente ecuación:

$$S_{vf} = M_f * G_0 \quad (1)$$

donde  $S_{vf}$  : Hinchamiento volumétrico, (%)

$M_f$  : Punto de saturación de la fibra, (%)

$G_0$  : Densidad anhidra, ( $g/cm^3$ )

Choong y Barnes (1968) citados por Skaar (1988), reportaron que el hinchamiento volumétrico ( $S_{vf}$ ) entre la condición seca y húmeda de cuatro pinos (P. echinata, P. palustris, P. taeda, P. elliottii), aumenta esencialmente en forma lineal con el peso específico (es la razón entre el peso seco y el volumen a un determinado contenido de humedad dividido por la densidad del agua) en ( $G_0$ ), sobre un rango de 0.4-0.8.

También desarrollaron ecuaciones de regresión entre el hinchamiento volumétrico ( $S_{vf}$ ) y peso específico en seco ( $G_0$ ) para las cuatro especies señaladas, tanto para el duramen y la albura, como para la combinación de albura y duramen. Los correspondientes valores de  $R^2$  (coeficiente de determinación) fueron de 0.20; 0.72 y 0.37. Por lo tanto, la mayor correlación fue obtenida para la madera madura, y las más pobres para madera juvenil. Los correspondientes valores de  $M_f$ , obtenido del valor promedio de  $S_{vf}$ ,  $G_0$ , basados en la ecuación (1), fueron: 24.2; 27.7 y 26.0 que están razonablemente de acuerdo con otros valores reportados para coníferas. En un estudio posterior, Choong (1969) citado por Skaar (1988), encontró que la separación de extraíbles con agua caliente y solventes orgánicos mejoraron la regresión entre  $S_{vf}$  y  $G_0$ , de modo que  $R^2$  subió de 0.20 para maderas sin extracción, a 0.59 para maderas con separación de extraíbles. El valor promedio de la razón  $S_{vf} / G_0$  incrementó desde 23 a 30 luego de la extracción.

Yao (1969), en estudios realizados en Pinus taeda, observó que la contracción volumétrica decrece con el incremento en altura y varía significativamente de acuerdo a la dirección cardinal, encontrándose un valor bajo en la dirección sur de la médula de los árboles; también observó que la contracción

volumétrica aumenta con incrementos en el peso específico.

Según Greenhill (1936) citado por Skaar (1988), el hinchamiento volumétrico ( $S_v$ ) es ligeramente menor que la suma de los tres componentes principales; para una muestra prismática es:

$$\begin{aligned} S_v &= 100 [1 - (1 - 0.01S_l)(1 - 0.01S_r)(1 - 0.01S_t)] \\ &= S_l + S_r + S_t - 0.01(S_l S_r + S_r S_t + S_t S_l) + \\ &\quad 0.0001 (S_l S_t S_r) \end{aligned} \quad (2)$$

donde los hinchamientos están dados en porcentaje. Una simplificación de esta ecuación ligeramente menos exacta, pero prácticamente idéntica puede ser obtenida eliminando los términos en los cuales la contracción longitudinal ( $S_l$ ) aparece multiplicada a  $S_r$  o  $S_t$ , ya que  $S_l$  es así más pequeña para la madera madura. Esta simplificación reduce la ecuación N° 2 a:

$$S_v = S_l + S_r + S_t - 0.01 S_r S_t \quad (3)$$

si el producto  $S_r S_t$  es despreciado, la ecuación 3 se reduce por lo tanto a una forma simple:

$$S_v = S_l + S_r + S_t \quad (4)$$

si  $S_l$  es despreciada, comparada con  $S_r$  y  $S_t$ , entonces la ecuación 4 se reduce a:

$$S_v = S_r + S_t \quad (5)$$

Lo que simplifica el cálculo del hinchamiento volumétrico.

## 2.5 HINCHAMIENTO TRANSVERSAL

Cuando el agua penetra entre la cadena de celulosa, produce fuerzas en ella, que dan como resultado un hinchamiento transversal (radial y tangencial), mientras que el cambio en la dirección longitudinal es menor. Según Harris y Meylan (1965); Barber (1968), y Meylan (1972), el hinchamiento y contracción de la madera en esta dirección incrementa rápidamente con el aumento del ángulo microfibrilar de la capa S2, aunque otros factores, tales como los constituyentes de la pared celular, también deben ser considerados (Cave 1972a, 1972b, 1978a, 1978b).

Según Torricelli (1941); Maclean (1944); Kollman(1959); Koehler (1946, 1960); Siau (1972, 1984), y Skaar (1988), las

tres direcciones en que es estudiada la madera son la dirección longitudinal ( $S_l$ ), radial ( $S_r$ ) y tangencial ( $S_t$ ), cuyos valores de contracción o hinchamiento son de 0.1-0.3% para la dirección longitudinal, de 3-6% para la dirección radial y 6-12% para la dirección tangencial en maderas que están sobre un mismo rango de humedad.

Pentoney (1953) citado por Skaar (1988), divide las teorías propuestas para explicar la anisotropía transversal en tres grupos : La primera es relativa a la variación en la estructura de la madera, tal como la disposición de tejidos y células. La segunda está basada sobre la variación en el alineamiento fibrilar. La tercera, relativa a la variación en las capas de la pared celular.

Vintila (1939); Panshin y de Zeeuw (1980), y Skaar (1988), citan dos explicaciones para la anisotrópica higoexpansión transversal, basada sobre la estructura de la madera. La más antigua y popular es la llamada **teoría del rayo restringido**. Está apoyada sobre la suposición que los rayos que están orientados radialmente, producen contracción e hinchamiento radialmente menores.

La segunda es la **teoría de la madera de primavera - verano**,

la cual parece explicar una considerable parte de las diferencias entre el cambio dimensional tangencial y radial. Está fundada sobre la desigualdad en el espesor de pared y la orientación de las capas de la pared celular en la madera de primavera y verano (Bennottsen 1978 citado por Panshin y de Zeeuw 1980). El mayor porcentaje de la capa S2 en la pared celular de la madera de verano causa una gran contracción lateral en esta porción del anillo anual. Las células de la madera de primavera, con sus paredes mas delgadas, poseen relativamente un menor porcentaje de la capa S2, y los cambios laterales son considerablemente afectados por el bajo ángulo de orientación microfibrilar de las capas S1 y S3, que da por resultado en la madera de primavera, una contracción transversal menor que en la madera de verano. Los cambios dimensionales transversales en las dos direcciones axiales, son el resultado de la diferencia en la cantidad y estructura de la pared celular en la madera de primavera y verano. La contracción e hinchamiento tangencial, son largamente controlados por los cambios en la madera de verano, por lo que esta parte del incremento del crecimiento, influye bastante en forzar la madera de primavera a obrar de acuerdo con ella.

Teorías adicionales han sido propuestas por Panshin y de Seeuw (1980), (Bosshord 1956; Kato y Nakato 1968; Boyd 1974)

citados por Skaar (1988), para explicar las diferencias en la contracción radial y tangencial en la madera. Por ejemplo, el alto contenido de lignina en la pared radial, es mayor que en la pared tangencial, y que la contracción decrece con el incremento de la lignificación.

Otra hipótesis para explicar las diferencias en la contracción tangencial y radial en la madera es la sustentada por Frey - Wyssling (1940a, 1940b); Ritler y Michell 1952; Pentoney 1953; Boyd 1974 ) citados por Skaar (1988), basada sobre diferencias entre las paredes tangenciales y radiales, que explican la contracción transversal, como resultado de la orientación del ángulo microfibrilar el cual es mas pequeño en la pared radial que en la pared tangencial.

Otros autores, por ejemplo Keylwerth (1962, 1964); Noack et al. (1973); Chomcharn y Skaar (1983a, 1983b), Hart (1984), (Morzchauser y Preston 1954, Kelsey 1956, Ecklund 1961, Hittmeier 1967, Youlet y Fortin 1975) citados por Skaar (1988), sugieren que la contracción tangencial comienza a mayores contenido de humedad que la contracción radial y por esta razón es mayor ya que actúa sobre un tiempo mas prolongado.

Algunos valores de contracción y/o hinchamiento para la madera de pino radiata se presentan en la tabla 1.

TABLA 1. VALORES DE CONTRACCION RADIAL, TANGENCIAL Y VOLUMETRICO EN MADERA DE P. radiata.

C.H %	Radial %	Tangencial %	Volumétrico %	Fuente
0	4.2	7.1	11.2	Pérez (1984)
0	4.0	7.1	10.9	Torres (1971)
0	5.1	7.7	-	Cuevas (1969)
0	3.4	7.0	10.5	Cown (1992a)
0	4.2	7.0	11.2	Rosende y Castillo (1973)
5	4.4	6.8	-	Cuevas (1969)
12	2.0	4.0	6.0	Cown (1992a)
12	2.9 3.0	4.8 A.R. 4.9 D.R.	-	Cuevas (1969)
18	1.8	3.0	-	Cuevas (1969)

A.R. antes de reacondicionamiento.

D.R. después de reacondicionamiento.

C.H. contenido de humedad.



## 2.6 FIBRA EN ESPIRAL

Brazier (1965); Noskowiak (1968), y Harris (1984), reconocen que la fibra en espiral es una característica natural indeseable en la madera aserrada porque produce efectos adversos sobre la resistencia, secado y propiedades mecánicas de ésta. La detección visual puede ser fácilmente realizada sobre la superficie de la madera aserrada de manera de estimar su dirección y longitud. Harris (1984) la describe como el torcimiento de las fibra en espiral alrededor del eje longitudinal del árbol.

Noskowiak (1968), señala que numerosos estudios, principalmente en coníferas, muestran que la fibra en espiral está presente en magnitud y dirección variable desde la médula a la corteza de los árboles en patrones más o menos consistentes, lo cual es reafirmado por Cown et al. (1991), para un rodal manejado de pino radiata de 25 años, quienes indican además que se produce un aumento de los patrones de la fibra espiral con la altura.

Cown et al. (1991), encontraron para un rodal manejado de pino radiata de 25 años una desviación de  $4.7^\circ$  de la fibra en el décimo anillo de crecimiento (zona de madera juvenil)

que produciría efectos significativos en el procesamiento y secado de la madera. Cown (1992a, 1992b), señala para un rodal manejado de pino radiata de 25 años que los mayores ángulos ocurren dentro de los primeros 10 anillos de crecimiento desde la médula.

La reducción de la edad de cosecha ha resultado en una alta proporción de árboles que forman madera juvenil con significativa espiralidad, sin embargo, existe una creciente evidencia que este problema podría ser solucionado por mejoramiento genético, como lo sugieren Fielding (1953) y Zobel et al. (1968).



### III MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 PROCEDENCIA DE LAS MADERAS Y OBTENCION DE LAS PROBETAS

En la determinación del hinchamiento, absorción y variables asociadas, se trabajó con dos árboles de la clase diamétrica dominante provenientes de un rodal de P. radiata D. Don de 52 años (Baldini, 1994), ubicado en el fundo Pinares, comuna de Santa Juana, VIII Región, propiedad de Forestal Mininco S.A.

De cada uno de los árboles elegidos, se extrajeron secciones de 1 m de longitud ubicadas a diferentes alturas en el fuste (Fig. 1, apéndice 1). Posteriormente, de cada una de las secciones se obtuvieron probetas para el análisis de las variables señaladas, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- 1.- Inicialmente se marcó, con las letras "A-C", la cara de cada una de las secciones con dos líneas paralelas de ocho centímetros de ancho (Fig. 2, apéndice 1), luego cada sección se cuadró utilizando una sierra circular (Fig. 3, apéndice 1); posteriormente, con una sierra huincha, se obtuvieron "peinetas" "A-C" (Fig. 4, apéndice 1).
- 2.- Obtenidas las "peinetas" "A-C", se procedió a realizar cortes cada siete centímetros de ancho, a partir de la médula

hacia el exterior de las "peinetas", con sierra huincha; a cada corte obtenido se llamó "semipeinetas" (Fig. 5, apéndice 1).

3.- Cada "semipeineta" se subdividió a su vez en cuatro partes iguales y a cada corte se le denominó "semiprobetas" (Fig. 6, apéndice 1).

Obtenidas las semiprobetas, se precedió a encastillarlas en un recinto a la sombra para bajar gradualmente su humedad, hasta la humedad de equilibrio (19%, Infor, 1967), evitando de esta manera deformaciones en ella. Posteriormente, se introdujeron en una cámara de clima para alcanzar el contenido de humedad de ensayo del 12%. Luego se cepillaron, precediéndose a efectuar cortes de 25x25x100 mm en el extremo superior de cada una de las semiprobetas para obtener las probetas de ensayo, según altura de corte en el fuste, posición radial (albura y duramen) y dirección de flujo (tangencial y radial). En cada probeta se pintaron las caras (tangencial o radial y longitudinal), dejando libre aquellas por las cuales se condujo el flujo de agua requerido en el ensayo. Para tal efecto se utilizó un esmalte sintético, aplicando a lo menos tres capas de pintura (Fig. 7, apéndice 1).

### 3.2 VARIABLES MEDIDAS

Cada una de las probetas fue sometida a las siguientes mediciones:

- 1.- **Densidad.**- La densidad por altura de corte en el fuste (Fig.1, apéndice 1), se obtuvo mediante la relación entre el peso de la probeta y su volumen, medidos al 12 % de contenido de humedad (Fórmula 1, apéndice 2).
- 2.- **Ancho anillo de crecimiento.**- El ancho de anillo de crecimiento se calculó midiendo la distancia entre los anillos de crecimiento con una regla graduada en cm, con una precisión de 0.5 mm.
- 3.- **Hinchamiento.**- Se midió el hinchamiento (Fórmula 2, apéndice 2) tangencial y radial por altura de corte en el fuste cada 24 horas para la albura y para el duramen, sobre puntos previamente identificados en la probeta (Fig 1, apéndice 2) con un tornillo micrométrico (Mitutuyo) de un rango de medición de 25-50 mm y de una precisión de 0.01 mm. El hinchamiento volumétrico se calculó para probetas adyacentes en una misma sección de altura en el fuste, como la suma del hinchamiento tangencial mas el hinchamiento radial (Fig. 9, apéndice 1). El flujo tangencial y radial promedio de los

árboles muestra se obtuvo del total de las probetas ensayadas.

4.- **Coefficiente de absorción.**- Cada 24 horas, se estimó el coeficiente de absorción tangencial y radial por altura de corte en el fuste tanto para albura como para el duramen (Fig 1, apéndice 2) mediante la norma Japonesa JIS 2104 (anexo 1). El flujo tangencial y radial promedio de los árboles muestra se obtiene a partir del total de las probetas ensayadas.

5.- **Fibra en espiral.**- La medición de la fibra en espiral se llevó a cabo calculando el ángulo que forma el canal resinífero con respecto a una línea paralela al canto de la probeta (Fig. 10, apéndice 1).

### 3.3 ANALISIS DE DATOS

- Para el análisis del hinchamiento y coeficiente de absorción se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tres factores (altura, posición radial, y dirección de flujo) con submuestras. Mediante la prueba de Duncan (Steel y Torries 1985) se determinan las diferencias entre los promedios de los distintos niveles de cada factor.

- Tomando como base muestral la cantidad de probetas, se realizó un análisis de coeficiente de correlación simple

(matriz de Pearson) de cada variable asociada (densidad, ancho del anillo de crecimiento y fibra en espiral) y su relación con el hinchamiento y coeficiente de absorción tangencial y radial por altura de corte en el fuste para la albura y el duramen. Las variables que presentaban un mayor valor de correlación fueron seleccionadas ( $p > 5\%$ ) y sometida a la prueba F. (Steel y Torries 1985)



#### IV RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 DENSIDAD SECA AL AIRE 12%

La densidad seca al aire promedio para la albura fue de 0.558 (g/cm<sup>3</sup>), valor que superó en un 28.3% al del duramen, el cual alcanzó un valor de 0.435 (g/cm<sup>3</sup>) (tabla 2).

TABLA 2. DENSIDAD PROMEDIO TOTAL, PARA ALBURA Y PARA DURAMEN EN MADERA DE P. radiata.

Densidad (12%)	Media (g/cm <sup>3</sup> )	Desv.Est. (g/cm <sup>3</sup> )	N° ensayos
Total	0.498	0.088	135
Albura	0.558	0.066	69
Duramen	0.435	0.059	66

La densidad total promedio seca al aire en las probetas ensayadas de pino radiata, alcanzó un valor de 0.498 (g/cm<sup>3</sup>), magnitud cercana a la encontrada por Cown (1992a) en madera aserrada de la misma especie en Nueva Zelanda.

Los valores de densidad seca al aire en las probetas de pino radiata disminuyen con la altura en el fuste e incrementan desde la médula a la corteza (Fig. 1). Ambos patrones de comportamiento, coinciden con los resultados reportados en Nueva Zelanda para la densidad básica de pino radiata, por



Cown (1982) en rodales de 10, 20, 30, 40, y 50 años, sin manejo, por Cown y McConchie (1982) para rodales manejados de esta especie de 24 y 34 años y en rodales sin manejo de 10 y 52 años y por Young et al (1992) para un rodal manejado de 25 años. En Chile, Paz y Melo (1965) encontraron similar tendencia para la densidad anhidra, en rodales no manejados de pino radiata de 17 y 23 años establecidos en suelos arenosos y arcillosos.

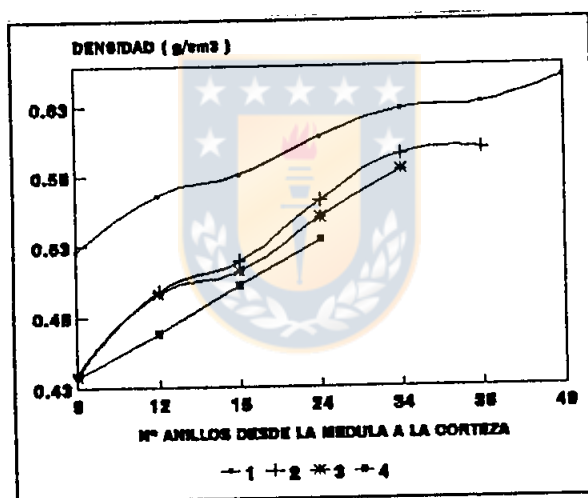


FIGURA N° 1 Variación de la densidad desde la médula a la corteza por altura de corte en el fuste (\*) en madera de P. radiata.

- \* Altura de corte en el fuste
- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1) 0.3 - 1.3 m   | 2) 6.3 - 7.3 m   |
| 3) 13.3 - 14.3 m | 4) 20.3 - 21.3 m |

#### 4.2 ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO

El ancho del anillo crecimiento promedio para duramen fue

de 8.5 mm valor superior en un 51.7% al de la albura que alcanzó los 3.6 mm (Tabla 3 ).

TABLA 3. ANCHO ANILLO CRECIMIENTO PROMEDIO TOTAL, PARA ALBURA Y PARA DURAMEN EN MADERA DE P. radiata.

Ancho anillo crecimiento	Media (mm)	Desv. Est. (mm)	N° ensayos
Total	6.0	3.1	135
Albura	3.6	1.4	69
Duramen	8.5	2.5	66

El promedio total del ancho del anillo de crecimiento encontrado en las probetas de pino radiata fue de 6,0 mm, valor menor que los reportados por Cown (1992) en Nueva Zelanda para esta especie, pero similares a los registrados por Nicholls y Brown (1973) en árboles de pino radiata de 9 a 12 años, bifurcados a partir de los primeros 0.5 m desde el nivel del suelo, establecidos en Australia con un espaciamiento inicial de 2.4 a 2.7 m.

Los mayores valores de ancho del anillo de crecimiento en pino radiata se registran dentro de los primeros 12 anillos de crecimiento contados desde la médula (Fig. 2), valor similar al registrado por Cown (1992a, 1992b) en Nueva Zelanda para esta especie.

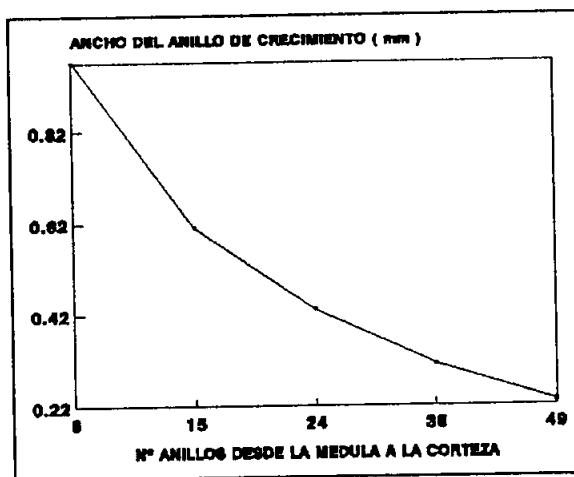


FIGURA 2. Variación del ancho de anillo crecimiento desde la médula a la corteza en madera de P. radiata.

Con la altura de corte en el fuste no se aprecia una variación clara del ancho de anillo de crecimiento tanto para la albura como para el duramen. Las mayores diferencias obtenidas alcanzan valores de 6.4% y 1.7%, respectivamente (tabla 1, apéndice 3)

#### 4.3 HINCHAMIENTO

En la albura el hinchamiento fue de 7.8% para el flujo tangencial y de 6.5% para el flujo radial. En el duramen el hinchamiento para el flujo tangencial fue de 5.8% y de 4.6% para el flujo radial. El valor del hinchamiento solamente para el flujo tangencial fue de 6.5% y de 5.6% para el flujo radial. El hinchamiento volumétrico fue de 12.3% (Tabla 4).

TABLA 4. HINCHAMIENTO PROMEDIO PARA ALBURA, DURAMEN, VOLUMETRICO, FLUJO TANGENCIAL Y FLUJO RADIAL EN MADERA DE P. radiata.

Hinchamiento (%)	Media (%)	Desv. Est (%)	N° ensayos
<u>Albura</u>			
Flujo tangencial	7.779	1.043	33
Flujo radial	6.530	0.952	34
<u>Duramen</u>			
Flujo tangencial	5.778	1.338	33
Flujo radial	4.642	1.194	35
Flujo tangencial	6.538	1.537	69
Flujo radial	5.597	1.434	66
Volumétrico	12.326	2.696	135

En las probetas de pino radiata, el duramen se hinchó 1,8% menos en volumen que la albura, tanto para flujo tangencial como radial. Stamm (1973) y Cown (1992) señalan para P. radiata y P. taeda respectivamente, una diferencia de 1% entre albura y duramen solamente.

Banks (1968), Comstock y Cote (1968), Bramhall (1971) y Siau (1984), encontraron que el duramen es menos permeable que la albura. Choong y Fogg (1968), concluyeron que la mayor permeabilidad de la albura es debido a la presencia de grandes punteaduras intercelulares y a la menor cantidad de punteaduras aspiradas. Valenzuela y Rius (1981) señalan que

el duramen sufre deposiciones y acumulaciones de materiales extraños, extraíbles, gomas, taninos, resinas u otros elementos orgánicos que inciden sobre su permeabilidad.

El hinchamiento tangencial (6.8%) fue mayor que el radial (5.6%); el hinchamiento volumétrico fue de 12.3%. Cuevas (1969); Rosende y Castillo (1973); Pérez (1984), y Cown (1992), encontraron similar tendencia para el hinchamiento tangencial y radial con valores para un contenido de humedad anhidro de 3.4 a 5.1% y de 7.0 a 7.1%, respectivamente; para el hinchamiento volumétrico este oscilo entre 10.5 a 11.2%.

El hinchamiento tangencial y radial incrementa desde la médula a la corteza y disminuye con la altura de corte en el fuste (Fig. 3). Booker et al. (1992) y Cown (1992a) determinaron en pino radiata que la contracción tangencial y radial aumenta desde la médula a la corteza. Kaumann y Mittak (1966) en N. dombeyi (coihue), Cuevas (1969) en plantaciones de pino radiata, Yao (1969) en P. taeda, y Young et al. (1992) en pino radiata de 25 años determinaron que la contracción tangencial y radial disminuye desde la base hacia el ápice del árbol; en ambos casos el hinchamiento tangencial es mayor que el radial.

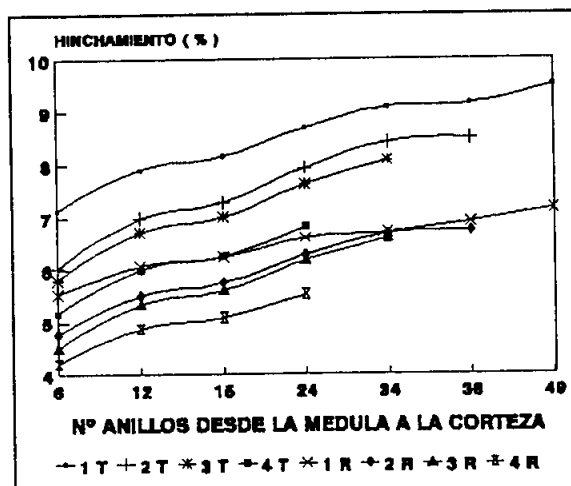


FIGURA 3. Variación del hinchamiento para el flujo tangencial (T) y flujo radial (R) desde la médula a la corteza por altura de corte (\*) en madera de P. radiata.

\* Altura de corte en el fuste

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1) 0.3 - 1.3 m   | 2) 6.3 - 7.3 m   |
| 3) 13.3 - 14.3 m | 4) 20.3 - 21.3 m |

#### 4.4 HINCHAMIENTO Y DENSIDAD DE LA MADERA

##### 4.4.1 HINCHAMIENTO VOLUMETRICO

La relación entre el hinchamiento volumétrico y la densidad fue significativa al 1% con un coeficiente de correlación de  $r=0,838$ . Relaciones significativas entre el hinchamiento volumétrico y la densidad fueron también determinadas por varios autores (e.g. MacLean 1944; Kollman y Cote 1968; Yao 1969; Chafe 1986; y Skaar 1988).

La albura presenta una pendiente más pronunciada con un coeficiente de correlación ( $r$ ) 0.691 (significativo al 1%) y el duramen una pendiente casi paralela al eje de las coordenadas (significativa al 5%) con un  $r = 0.136$  (Fig. 4). Según Bravo (1993) la albura presenta una densidad superior, existiendo en consecuencia una mayor cantidad de madera a ser hinchada. Valenzuela y Rius (1981) indican que la albura es más fácilmente penetrada que el duramen puesto que este último sufre la deposición y acumulación de materiales extraños, tales como taninos, gomas, resinas y otros elementos orgánicos que la hacen menos permeable.

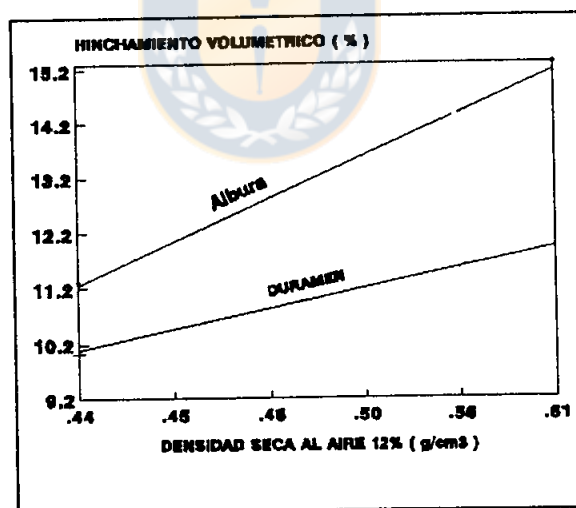


FIGURA 4. Relación del hinchamiento volumétrico con la densidad para albura y duramen en madera de P. radiata.

#### 4.4.2 HINCHAMIENTO PARA FLUJO TANGENCIAL Y RADIAL CON LA DENSIDAD DE LA MADERA

En la albura la pendiente del hinchamiento para el flujo tangencial es más pronunciada que para el flujo radial (Fig. 5), donde los coeficientes de correlación significativos al 1%, son de  $r = 0.701$  y de  $r = 0.651$ , respectivamente.

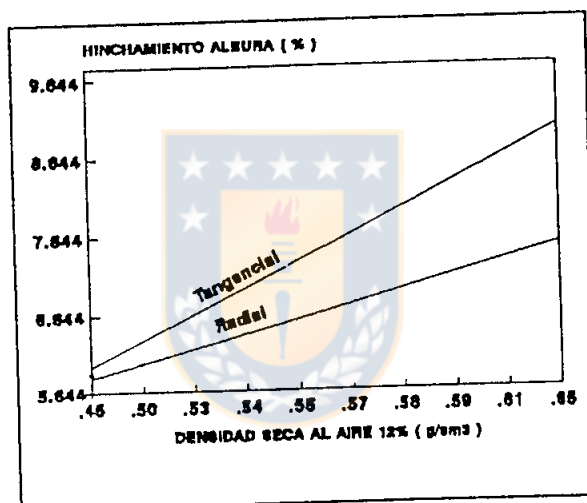


FIGURA 5. Relación existente entre el hinchamiento para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para la albura en madera de P. radiata.

Para el duramen, las curvas de hinchamiento para su flujo tangencial y radial se presentan casi paralelas al eje de las coordenadas lo que indica su baja relación con respecto a la densidad, con coeficientes de correlación para el flujo tangencial de  $r = 0.378$  y para el flujo radial de  $r = 0.348$ , ambos



significativos al nivel de 5% (Fig. 6)

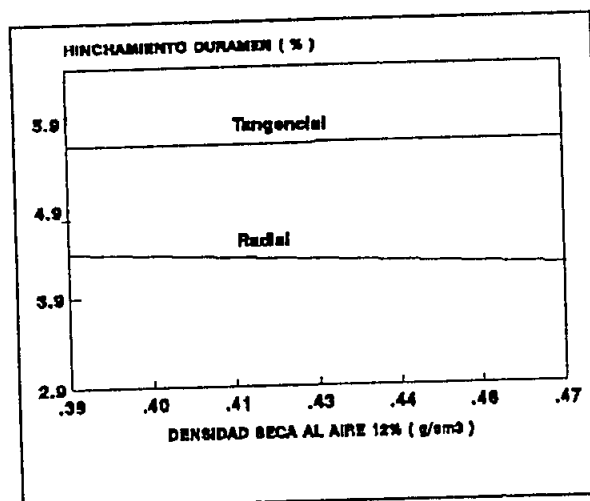


FIGURA 6. Relación existente entre el hinchamiento para el flujo tangencial y flujo radial respecto a la densidad para el duramen en madera de *P. radiata*.

El que los valores de hinchamiento del flujo tangencial sean mayores que los del flujo radial tanto para la albura como para el duramen, se explicarían, según Bravo (1993), Panshin y de Zeeuw (1980), Skaar (1988) y Vintila (1939) por la interacción de la madera de primavera-verano, además de la presencia de los rayos leñosos. Por una parte, la interacción de la madera de primavera-verano, actúa incrementando el hinchamiento en el sentido tangencial debido a que la madera de verano posee paredes celulares más gruesas y, por lo tanto, es capaz de hincharse más, arrastrando así la madera de primavera. La presencia de los rayos leñosos,

por otra parte, actúa restringiendo el hinchamiento en sentido radial.

#### 4.5 COEFICIENTE DE ABSORCION

En la albura, el coeficiente de absorción fue de 0.290 g/cm<sup>2</sup> para al flujo tangencial y de 0.386 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. En el duramen, el coeficiente de absorción para el flujo tangencial fue de 0.218 g/cm<sup>2</sup> y de 0.238 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. El valor del coeficiente de absorción solamente para el flujo tangencial fue de 0.254 g/cm<sup>2</sup> y de 0.310 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial (tabla 5).

TABLA 5. COEFICIENTE DE ABSORCION PROMEDIO PARA ALBURA, DURAMEN, FLUJO TANGENCIAL Y FLUJO RADIAL EN MADERA DE P. radiata

Coeficiente de absorción	Media (g/cm <sup>2</sup> )	Desv. Est. (g/cm <sup>2</sup> )	N° ensayos
<u>Albura</u>			
Flujo tangencial	0.290	0.057	33
Flujo radial	0.386	0.127	34
<u>Duramen</u>			
Flujo tangencial	0.218	0.014	33
Flujo radial	0.238	0.019	35
Flujo tangencial	0.254	0.055	69
Flujo radial	0.310	0.116	66

El coeficiente de absorción para el flujo radial ( $0.310 \text{ g/cm}^2$ ) fue 22.1% mayor que para el flujo tangencial ( $0.254 \text{ g/cm}^2$ ). Bravo (1993) determinó que el coeficiente de absorción radial en pino marítimo supera en 100% al coeficiente de absorción tangencial, lo que atribuyó a la presencia de los rayos fusiformes. Choong y Fogg (1968) y Panshin y de Zeeuw (1980) señalan que la permeabilidad para el flujo radial es mayor que para el flujo tangencial.

En el duramen los valores para el coeficiente de absorción se mantienen prácticamente paralelos al eje horizontal y para la albura el coeficiente de absorción aumenta hacia la corteza (Fig. 7). Banks (1968), Bramhall (1971), Comstock y Cote (1968), Siau (1984), encontraron que el duramen es menos permeable que la albura en diferentes especies. Valenzuela y Rius (1981) señalan que el duramen sufre deposiciones y acumulaciones de materiales extraños, extraíbles, gomas, taninos, resinas y otros elementos orgánicos que inciden sobre su permeabilidad. Stamm (1973), señala una mayor proporción de punteaduras aspiradas para el duramen que para la albura.

Para la albura y el duramen, no se detectaron diferencias significativas entre las distintas alturas en el fuste para el coeficiente de absorción tangencial y radial (apéndice 4).

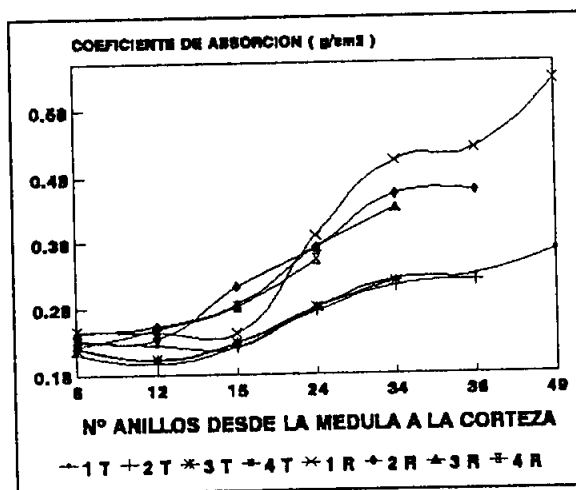


FIGURA 7. Variación del coeficiente de absorción para el flujo tangencial (T) y flujo radial (R) desde la médula a la corteza por altura de corte (\*) en madera de *P. radiata*

\* Altura de corte en el fuste

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1) 0.3 - 1.3 m   | 2) 6.3 - 7.3 m   |
| 3) 13.3 - 14.3 m | 4) 20.3 - 21.3 m |

#### 4.5.1 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD DE LA MADERA

En la albura, la pendiente del coeficiente de absorción con la densidad para el flujo radial es más pronunciada que para el flujo tangencial (Fig. 8), donde el flujo radial presenta un coeficientes de correlación de  $r= 0.690$  y el flujo tangencial un coeficiente de correlación de  $r= 0.516$ , ambos significativos al 1%.

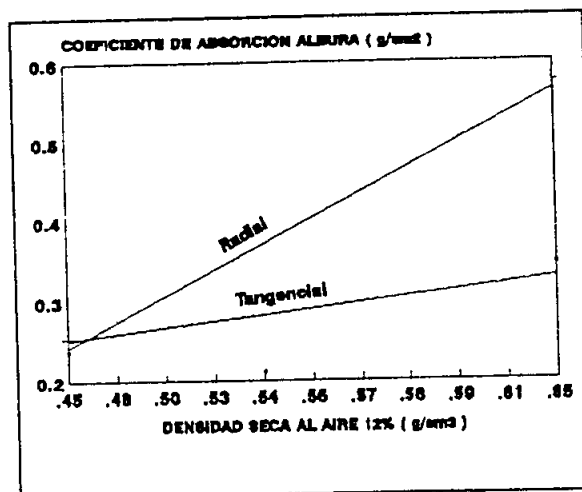


FIGURA 8. Relación existente entre el coeficiente de absorción para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para la albura en madera de P. radiata

Para el duramen las curvas que relacionan el coeficiente de absorción radial y tangencial con la densidad, se comportan casi paralelas al eje horizontal, donde el flujo radial posee un coeficiente de correlación de  $r=0.364$ , y el flujo tangencial un coeficiente de correlación de  $r=0.321$ , ambos significativos al 5% (Fig. 9).

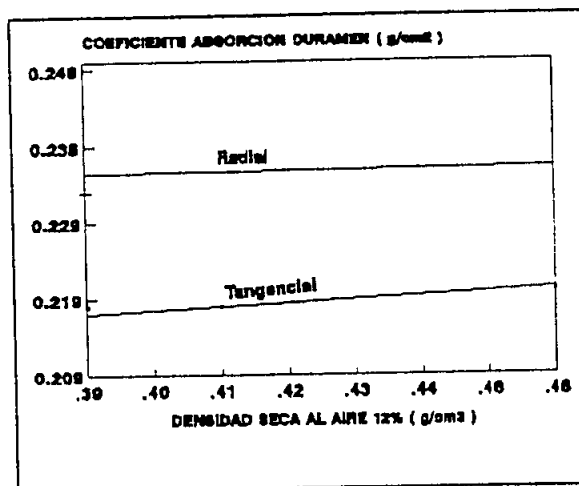


FIGURA 9. Relación existente entre el coeficiente de absorción para el flujo tangencial y flujo radial con respecto a la densidad para duramen en madera de P. radiata

Debido a que el flujo de un fluido en la madera es a través de la pared celular, de los radios leñosos y punteaduras, dependerá de la estructura celular de la madera el comportamiento de la absorción (Bailey 1964, Petty 1973, Palin y Petty (1981, 1983), Siau 1984). Las punteaduras se encuentran en mayor cantidad en la cara radial (Stamm 1946, Siau 1984) por lo que éstas presentan real importancia en la medición de la absorción del flujo tangencial; en la cara tangencial, los rayos juegan un papel importante en la absorción del flujo radial (Stamm 1946, Siau 1981, Bravo 1993).

Banks (1970) citado por Siau (1984), señala una mayor permea

bilidad en el flujo radial que en el flujo tangencial para P. sylvestris. Similar resultado fue reportado por Comstock (1970), citado por Siau (1984), en el cual la razón de la permeabilidad para el flujo radial con respecto a la del flujo tangencial es 5 a 37 para pinos, siendo de 0.003 a 0.7 para la albura de pino oregón.

#### 4.6 FIBRA EN ESPIRAL

El valor de la fibra en espiral en el duramen fue de 3.4 grados, superando en un 21.2% al de la albura que alcanzó un promedio de 2.8 grados. El valor total fue de 3.1 grados (tabla 6 ).

TABLA 6. FIBRA ESPIRAL PROMEDIO PARA ALBURA Y PARA DURAMEN EN P. radiata.

Fibra espiral	Medias (grados)	Desv.Est. (grados)	N° ensayos
Total	3.07	2.10	135
Albura	2.78	1.77	69
Duramen	3.37	2.38	66

Los valores de la fibra en espiral disminuyen desde la médula al anillo 36 (registrando dentro de los 12 primeros anillos valores de 2 - 8 grados) para luego aumentar hacia la corteza (Fig. 10). Cown et al. (1991) y Young et al. (1992) señalan

que los patrones de fibra en espiral en Nueva Zelanda para rodales manejados de pino radiata de 25 años, disminuyen de la médula a la corteza. Nicholls y Brown (1973) registran en la madera juvenil de pino radiata de 13 años valores de 1 - 7 grados, Cown et al. (1991) y Young et al. (1991) registraron en rodales manejados de pino radiata de 25 años valores de 2 a 7 grados.

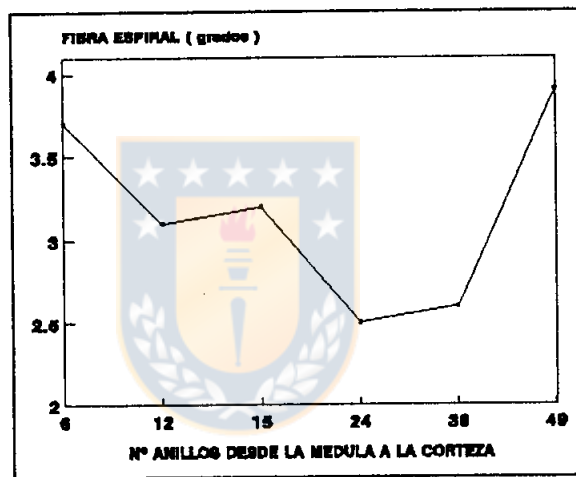


FIGURA 10. Variación de la fibra en espiral desde la médula a la corteza en madera de P. radiata

#### 4.6.1 FIBRA EN ESPIRAL E HINCHAMIENTO DE LA MADERA

No se encontró una relación de la fibra en espiral con respecto al hinchamiento tangencial y radial tanto para la albura como para el duramen (apéndice 5). Bravo (1993), señala



para pino marítimo que las curvas del hinchamiento tangencial son mayores que la radial; además encontró que el hinchamiento tangencial se mantiene prácticamente constante con el aumento de la fibra en espiral, no así el hinchamiento radial que disminuye a medida que la fibra en espiral crece. Este fenómeno lo atribuye a la presencia de los radios leñosos, que en sentido radial dificultan el hinchamiento debido al traslape de células de una corrida a otra, no influyendo el ángulo que estos formen con el eje longitudinal. En el sentido tangencial, en cambio, la inclinación de la fibra proporcionaría una disminución del hinchamiento, pero esta acción se ve contrarrestada por el traslape de las células.

#### **4.6.2 FIBRA EN ESPIRAL Y COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LA MADERA**

No se encontró una relación entre la fibra en espiral y el coeficiente de absorción radial y tangencial tanto para la albura como para el duramen (apéndice 5). Bravo (1993), señala para pino marítimo que las curvas trazadas para la absorción tangencial no presentan gran variación con el aumento o disminución de la fibra en espiral. En sentido radial, en cambio, la fibra en espiral aporta importante influencia en la absorción, porque en sentido tangencial el flujo de fluido es a través de las paredes

celulares y de las punteaduras, las cuales con la inclinación de la fibra no se ven afectadas. En el sentido radial el flujo es a través de los radios leñosos, los que con la inclinación de la fibra se presentan en forma irregular, debido al traslape de las células. Esta forma irregular dificulta el flujo de fluido, por lo tanto, dificulta la absorción.



## V CONCLUSIONES

### A.- DENSIDAD SECA AL AIRE (12%).

- 1.- La densidad seca al aire (12%) para la albura fue de  $0.558 \text{ g/cm}^3$ , y de  $0.435 \text{ g/cm}^3$  para el duramen, alcanzando un valor para el total de las probetas de  $0.498 \text{ g/cm}^3$ .
- 2.- La densidad seca al aire (12%) aumenta desde la médula a la corteza y disminuye con la altura de corte en el fuste



### B.- HINCHAMIENTO.

- 1.- En la albura el hinchamiento fue de 7.8% para el flujo tangencial y de 6.5% para el flujo radial. En el duramen el hinchamiento para el flujo tangencial fue de 5.8% y de 5.6% para el flujo radial. El valor del hinchamiento considerando los valores de la albura y el duramen fue de 6.5% para el flujo tangencial y de 5.6% para el flujo radial. El hinchamiento volumétrico fue de 12.3%.
- 2.- El hinchamiento aumenta desde la médula a la corteza y disminuye con la altura de corte en el fuste.

**C.- COEFICIENTE DE ABSORCION.**

- 1.- En la albura el coeficiente de absorción fue de 0.290 g/cm<sup>2</sup> para el flujo tangencial y de 0.389 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. En el duramen el coeficiente de absorción para el flujo tangencial fue de 0.218 g/cm<sup>2</sup> y de 0.238 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. El valor del coeficiente de absorción considerando los valores de la albura y el duramen fue de 0.254 g/cm<sup>2</sup> para el flujo tangencial y de 0.310 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial.
- 2.- Los valores del coeficiente de absorción se mantienen constantes en el duramen para luego aumentar hacia la corteza (albura). Con respecto a la altura de corte en el fuste hay una disminución del coeficiente de absorción sólo en la albura.

**D.- FIBRA EN ESPIRAL.**

- 1.- El valor de la fibra en espiral fue de 2.78 grados para la albura y de 3.4 grados para el duramen. Para el total este ascendió a 3.1 grados.

## VI RESUMEN

Se determinó para diferentes alturas en el fuste, bajo la norma Japonesa JIS 2 2104, el hinchamiento y coeficiente de absorción tangencial y radial tanto para la albura como para el duramen, en madera de P. radiata D. Don. proveniente de un rodal de 52 años, establecido en suelos arcillosos de la VIII región.

Los resultados muestran que los valores de hinchamiento tangencial y radial aumentan desde la médula a la corteza y disminuyen con la altura de corte en el fuste. En la albura el hinchamiento fue de 7.8% para el flujo tangencial y de 6.5% para el flujo radial. En el duramen el hinchamiento para el flujo tangencial fue de 5.8% y de 5.6% para el flujo radial. El valor del hinchamiento considerando los valores de la albura y el duramen fue de 6.5% para el flujo tangencial y de 5.6% para el flujo radial. El hinchamiento volumétrico fue de 12.3%. Para el coeficiente de absorción tangencial y radial se encontró que sus valores se mantienen constantes en el duramen, pero aumentan hacia la corteza (albura). Con respecto a la altura de corte en el fuste, hay una disminución del coeficiente de absorción sólo en la albura, no así en el duramen. En la albura, el coeficiente de absorción fue de

0.290 g/cm<sup>2</sup> para el flujo tangencial y de 0.389 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. En el duramen, el coeficiente de absorción para el flujo tangencial fue de 0.218 g/cm<sup>2</sup> y de 0.238 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial. El valor del coeficiente de absorción, considerando los valores de la albura y el duramen, fue de 0.254 g/cm<sup>2</sup> para el flujo tangencial y de 0.310 g/cm<sup>2</sup> para el flujo radial.

El hinchamiento y el coeficiente de absorción se correlacionan positivamente con la densidad de la madera seca al aire (12%). La relación es significativa para la albura al 1% con el hinchamiento volumétrico, el hinchamiento para el flujo tangencial y para el coeficiente de absorción para el flujo radial, y es significativa al 5% para el hinchamiento volumétrico, para el hinchamiento para el flujo radial y el coeficiente de absorción para el flujo tangencial.

## VI SUMMARY

Under the JIS 2104 Japanese rule, the swelling and the coefficient of tangencial and radial absorption have been fixed for different highs in the wood as much the sapwood as the heartwood to P. radiata D. Don. wood proceeding from a 52 year-patch of stand on clayey from Bío-Bío region.

The results show the values of tangencial and radial swelling increasing from pith to bark and disminishing with the high of the felling in the wood. In the sapwood, the swelling was 7.8% for the tangencial flow and 6.5% for the radial flow. In the heartwood, the swelling was 5.8% for the tangencial flow and 5.6% for the radial flow. The value of the swelling considering the values of the sapwood and the heartwood were 6.5% for the tangencial flow and 5.6% for the radial flow. The volumetrical swelling was 12.3%. For the coefficient of tangencial and radial absorption were found that their values are kept constant in the heartwood, but increasing to bark (sapwood). With respect to the high of the felling in the wood, there is only a disminition of the absorption coefficient in the sapwood, not so in the heartwood. In the sapwood, the coefficient the absorption was 0.290 g/cm<sup>2</sup> for the tangencial flow and 0.390 g/cm<sup>2</sup> for the radial flow. In

the heartwood, the coefficient the absorption was  $0.218 \text{ g/cm}^2$  for tangencial flow and  $0.238 \text{ g/cm}^2$  for radial flow. The values of the absorption coefficient, including the values of the sapwood and the heartwood, was  $0.254 \text{ g/cm}^2$  for the tangencial flow and  $0.310 \text{ g/cm}^2$  for the radial flow.

The swelling and the coefficient of absorption correlated with the air-dry of wood (12%). The relation is significant for the sapwood into 1% with the volumetrical swelling, the swelling for tangencial flow and for the absorption coefficient and for the radial flow, and it is significant for the heartwood into 5% for the volumetrical swelling, for the swelling for the radial flow and the absorption coefficient for the tangencial flow.



## BIBLIOGRAFIA

- Ananias, A. 1986. Difusión de agua a flujo constante e inmersión en madera de coigue y Pinus radiata. Tesis grado. Escuela de graduados. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales . Santiago, Chile
- Baldini, J. 1993. Análisis del crecimiento de un rodal adulto de Pinus radiata D. Don. Tesis de grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción. Chile.
- Bailey, P. 1964. Permeability of Softwoods. J. Inst. Wood Sci 12:44-55.
- Banks, W. 1968. Technique for Measuring the Lateral Permeability of Wood. J. Inst. Wood Sci 4:35-41.
- Banks, W. Water Uptake by Scots Pine Sapwood and its Restriction by the Use of Water Repellents. Wood Sci. Technol. 7:271-284.
- Barber, N. 1968. A Theoretical Model of Shrinking Wood. Holzforschung 22:97-103.
- Booker, R.; N. Ward y Q. Williams. 1992. A Theory of Cross-Sectional Shrinkage Distortion and its Experimental Verification. Wood Sci. Technol. 26: 353-368.
- Bramhall, G. 1971. The Validity of Darcy's Law in the Axial Penetration of Wood. Wood Sci. Technol. 5:121-134.
- Bravo, T. 1993. Estudio del hinchamiento en tres especies exóticas, crecidas en la reserva forestal malleco, IX región. Universidad del Biobio. Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería en Maderas. Concepción. Chile.
- Brazier, J. 1965. An Assessment of the Incidence and Significance of Spiral Grain in Young Conifer Trees. For. Prod. Jour. 11:308-312
- Cave, I. 1972. A Theory of the Shrinkage of Wood. Wood Sci. Technol. 6:284-292.

- Cuevas, I. 1969. Incidencia en los Fenómenos de Contracción y Colapso en el Secado de Algunas Maderas Comerciales de Chile. En: 145-155 p. Quinta Reunión de Investigaciones en Productos Forestales. Instituto Forestal. Santiago. Chile.
- Chafe, S. 1986. Collapse, Volumetric Shrinkage, Specific Gravity and Extractives in Eucaliptus and other Species. *Wood Sci. Technol.* 20:293-307.
- Choong, E. and P. Fogg. 1968. Moisture Movement in Six Wood Species. *For. Prod. Jour.* 18: 66-70
- Chomcharn, A. and C. Skaar. 1983. Dynamic Sorption and Hicroexpansion of Wood Wafers Exposed to Sinusoidally Varing Humidity. *Wood Sci. Technol.* 17: 259-277
- Chomcharn, A. and C. Skaar. 1983. Moisture and Transverse Dimensional Changes During Air-Drying of Small Green Hardwood Wafers. *Wood Sci. Technol.* 17:227-240.
- Fielding, J. 1953. Variation in Monterey Pine. *Aust. for. Timber Bur. Bull.* 31.
- Harris, J. 1989. Spiral Grain and Wave Phenomenain Wood Formation. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Harris, J. and B. Meylan. 1965. The Influence of Microfibril Angle on Longitudinal and Tangencial Shrinkage in Pinus radiata. *Holzforschung* 19:144-153.
- Hart, C. 1984. Relative Humidity, EMC, and Collapse Shinkage in Wood. *For. Prod. Jour.* 34:45-54
- Kauman, W. y G. Mittak. 1965. Problemas del Secado del Coihue. Instituto Forestal (ed.) 157-166p. Actas de Reunión sobre Investigaciones en Productos Forestales. Octubre. Concepción. (Informe Técnico N° 21).
- Keylwerth, R. 1962. Untersuchungen über Freie und Behinderte Quellung van holz. I Freie Quellung. *Holz Roh-Werkst* 20:252-259
- Keylwerth, R. 1964. Untersuchungen über Freie und Behinderte Quellung-Vierte Mitteilung: Untersuchungen über den Quellungsverlauf und die Feuchtig-Keitsabbüingigkeit der Roh-dichte van Hölzern. *Holz Roh-Werkst* 22:255-258.

- Koehler, A. 1946. Longitudinal Shrinkage of Wood. FPL, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. (rep 1093).
- Koehler, A. 1960. Longitudinal Shrinkage of Wood. FPL, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. (rep 1093).
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, N. 2.
- Kollmann, F. and W. Côte. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Vol.I. Solid Wood. Springer. Berlin. Heidelberg. New York.
- MacClean, J. 1944. Effect of Moisture Changes on the Shrinkage, Swelling, Specific Gravity, Air or Void Space, Weight and Similar Properties of Wood. Madison. Wis. Forest Products Laboratory. U.S.A.. (report R1448)
- Meylan, B. 1972. the Influence of Microfibril Angle on the Longitudinal Shrinkage-Moisture Content Relationship Wood. Sci. Technol. 6: 293-301.
- Nicholls, J. and A. Brown. 1973. The Relationship Between ring Width and Wood Characteristics en Double-Stemmed tree of radiata pine. N. Z. Jour. For. Sci. 4: 105-111
- Noack, D. E. Schwab and A. Bartz. 1973. Characteristics For a Judgment of the Sorption and Swelling Behavior of Wood. Wood Sci. Technol. 7:218-236.
- Noskowiak, A. 1968. Spiral Grain Patterns from Increment Cores. For. Prod. Jour. 18:57-60
- Palin, M. and J. Petty. 1981. Permeability to Water of the Cell Wall Material of Spruce Heart Wood. Wood Sci. Technol. 15: 161-169.
- Palin, M. and J. Petty. 1983. Permeability to Water of the Wood Cell Wall and its Variation with Temperature. Wood Sci. Technol. 17:187-193.
- Paz, J. y R. MELO. 1965 Contribución al análisis de las variaciones del largo de la fibra y pesos específicos en Pino Insigne (Pinus radiata D. Don.). Instituto Forestal (ed.) 157-166 p actas de Reunión sobre Investigaciones en Productos Forestales. Concepción. ( Informe Técnico N° 21)

- Panshin A. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. 4th edn. Mc Graw-Hill Book Co., Inc., New York N.Y.
- Perez, V. 1984. Manual de Propiedades Fisicas y Mecanicas de Maderas Chilenas. Dcto Trabajo N° 47. Santiago, Chile.
- Petty, J. 1973. Diffusion of Non-Swelling Gases through Dry Conifer Wood. Wood Sci. Technol. 7: 297-307.
- Prado, J. y S. Barros. 1986. Eucalyptus principios de silvicultura y manejo. Instituto Forestal. Corfo. Santiago, Chile.
- Senft, J.; B. Bendtsen and W. Galligan. 1985 Weak Wood-Fast-Grown tre Takes Problem Lumber. Jour. For. 83: 477-484.
- Skaar, C. 1988. Wood-Water Relations Springer. Berlin. Heidelberg. New York.
- Siau, J. 1972. Flow in Wood. Syracuse University Press. Syracuse.
- Siau, J. 1984. Transport Processes in Wood Springer. Berlin. Heidelberg. New York.
- Stamm, A. 1946. Passage of Liquids, Vapors and Dissolved Materials Through Softwoods. U.S. Dept. Agri. Tech. Bull. 929:1-80
- Stamm, A. 1964. Wood and Cellulose Science Konald Press. New York.
- Stamm, A. 1970. Variation of Maximum Tracheid and Pit Pore Dimension from Pith to Bark for Ponderose Pine and Redwood Before and after Drying Determined by Liquid Displacement. Wood Sci. Technol. 4:81-96.
- Stamm, A. 1973. Penetration of Hardwood by Liquids. Wood Sci. Technol. 7: 285-296.
- Stamm, A. 1979. Void Structure and Permeability of Paper Relative to that of Wood. Wood Sci. Technol. 13:41-47.
- Steel, R.G. y J.H. Torrie. 1983. Bioestadística; Principios y procedimientos. (2a. ed.). McGraw Hill, Bogotá, Colombia.

- Rosende, R. y H. Castillo. 1973. Contracción colapso y juego de las maderas Chilenas. Instituto Forestal. Boletín Informativo N° 27. Santiago. Chile.
- Torres, O. 1971. Madera. Depto. Técnico de Corma. Santiago. Chile.
- Torricelli, D. 1941. Propiedades físicas y mecánicas de las maderas Chilenas. Ministerio de tierras y colonización. Santiago. Chile,
- Valenzuela, H. y F. Rius. 1981. Estudio de permeabilidad de gases y líquidos en madera de Pino insigne. Universidad del Bio - bio. Depto. de Madera. Tomo I, II y III. Concepción. Chile.
- Vintila, E. 1939. Untersuchungen über Raungewicht und Schwindmaß von Früh- und Spätholz bei Sadelhölzern. Holzrohwerkst translated by l. paszner, october 1965 2:245-257.
- Yao, J. 1969. Shunkge Properties of Second-Growth Southern Yellow Pine. Wood Sci. Technol. 3:25-39.
- Young, G.; D. McConchie and R. McKinley. 1992. Utilisation of 25-Years-old Pinus radiata. Part 1: Wood Properties. N. Z. J. For. Sci. 21: 217-27.
- Zobel, B.; R. Stonecypher and C. Browne. 1968. Inheritance of Spiral Grain in Young Loblolly Pine. For. Sci. 14:377-379

IX APENDICE.

APENDICE 1

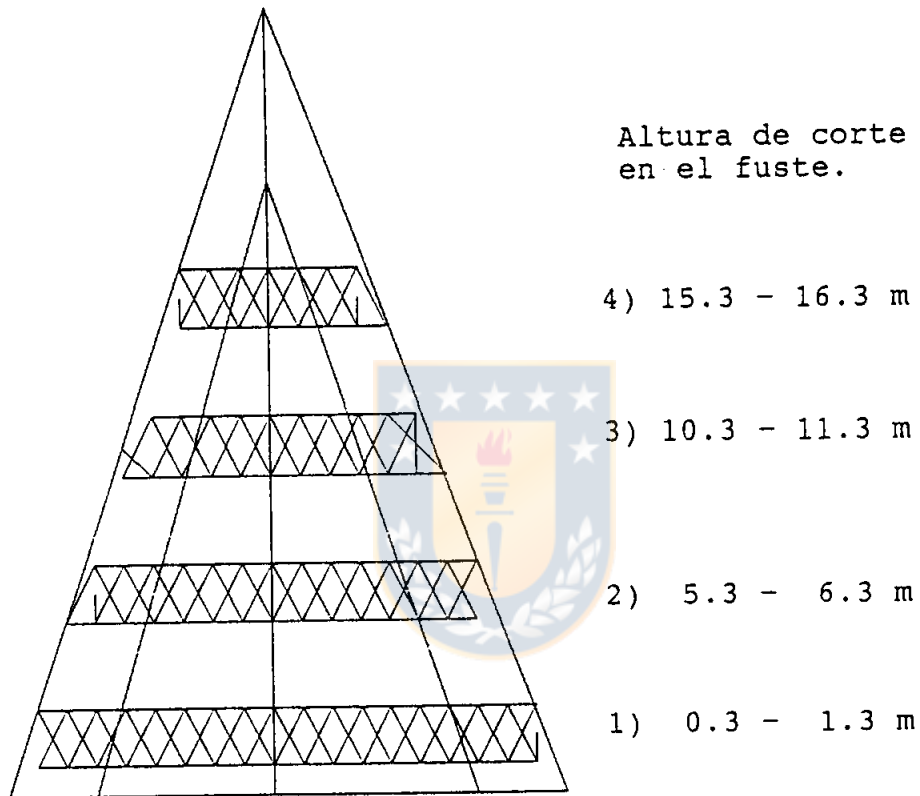


FIGURA 1 Representación de las diferentes posiciones en que fueron realizados los cortes en los árboles de P. radiata.

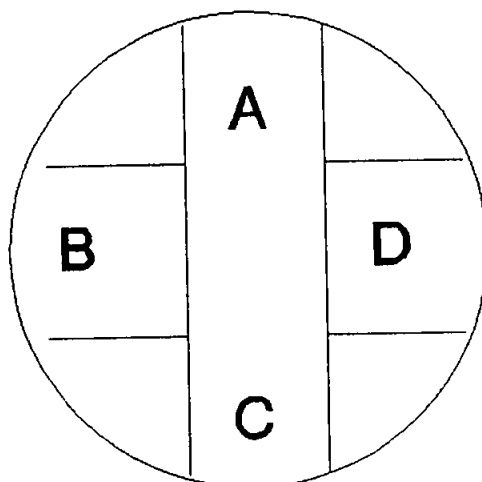


FIGURA 2. Marcado del trozo para la obtención de probetas en madera de P. radiata.

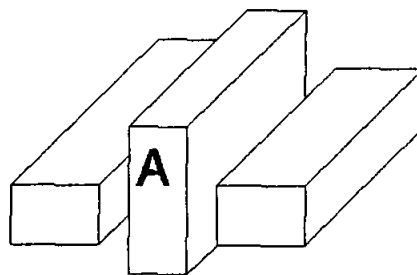
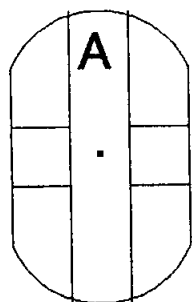


FIGURA 3. Cuadratura en sierra circular en madera de P. radiata.

FIGURA 4. Peineta en madera de P. radiata.

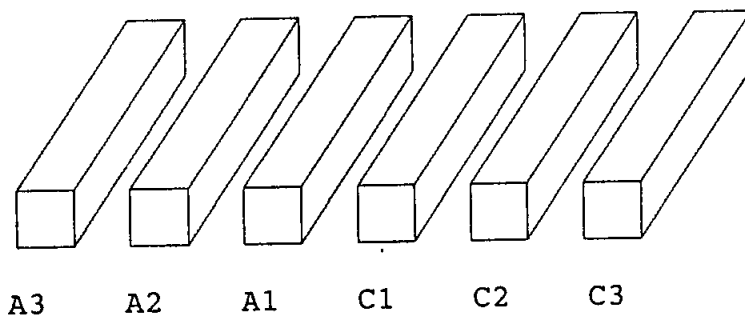


FIGURA 5. Cortes con sierra huincha para obtención de semipeinetas en madera P. radiata.

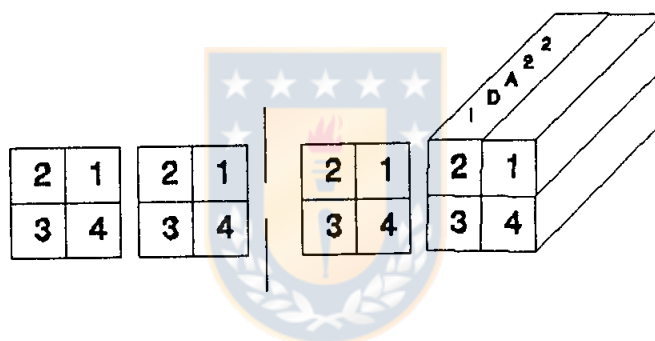
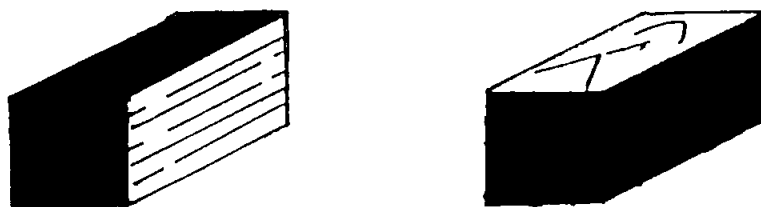


FIGURA 6. Identificación de las semiprobetas en madera de P. radiata.



Flujo tangencial      Flujo radial

FIGURA 7. Representación de una probeta de P. radiata con sus caras pintadas



Arbol 1

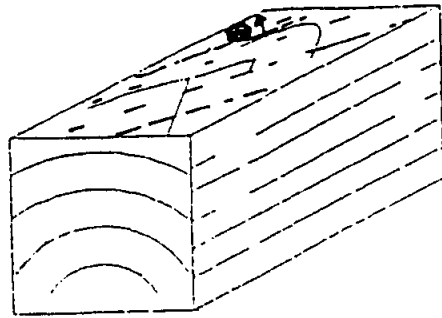
	M									
Rd	1	2	3	4	5	6	7	8		
Tg	9	10	11	12	13	14	15	16		
Rd	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Tg	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Rd	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
Tg	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rd		55	56	57	58	59	60	61		
Tg		62	63	64	65	66	67	68		

Arbol 2

	M									
Rd	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
Tg	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Rd	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Tg	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
Rd		107	108	109	110	111	112	113	114	
Tg		115	116	117	118	119	120	121	122	
Rd		123	124	125	126	127	128	129	130	
Tg		131	132	133	134	135	136	137	138	

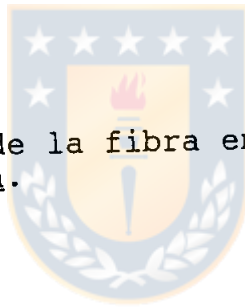
Rd: flujo radial.  
 Tg: flujo tangencial.  
 A : Albura.  
 D : Duramen.  
 M : Médula

FIGURA 8. Representación de la posición radial y dirección de flujo en que fueron realizados los cortes en los árboles de P. radiata.



$\theta$ : Ángulo que forma el canal resinífero al canto de la probeta.

FIGURA 9. Medición de la fibra en espiral en madera de P. radiata.



APENDICE 2.

Fórmula 1:

$$D = m/V \dots\dots\dots \text{g/cm}^3$$

donde:

D : Densidad . . . . .  $\text{g/cm}^3$

m : Masa de una pieza de madera anhidra . . . . . g

V : Volumen de la pieza a igual contenido de humedad .  $\text{cm}^3$

Fórmula 2:

$$H = \left( 1 - \frac{H_0}{H_f} \right) * 100 \dots\dots\dots \%$$

donde :

H : Hinchamiento . . . . . %

$H_0$  : Hinchamiento anhidro . . . . . %

$H_f$  : Hinchamiento final . . . . . %

**APENDICE 3.**

TABLA 1 ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO PROMEDIO POR ALTURA DE CORTE EN EL FUSTE PARA ALBURA Y DURAMEN EN P. radiata.

ANCHO ANILLO CRECIMIENTO				
ALTURA CORTE	ALBURA		DURAMEN	
	Media (cm)	Des. Est. (cm)	Media (cm)	Des. Est. (cm)
1	0.259	0.091	0.816	0.314
2	0.340	0.125	0.820	0.154
3	0.362	0.133	0.821	0.205
4	0.398	0.160	0.869	0.220

## APENDICE 4

### PRUEBA F PARA HINCHAMIENTO

Tratam.	G.L.	S.C.	F=SC/GL	F <sub>0.95</sub>	F <sub>0.99</sub>
T	15	50.98			
A	1	27.13	64.7**	4.49	8.53
B	1	11.21	26.7**		
C	3	9.63	7.7**	3.24	5.29
AB	1	0.10	0.2		
AC	3	1.06	0.8		
BC	3	1.21	0.9		
ABC	3	3.01	2.3		
E	16	6.71			
TOTAL	31				

\*\* Significativo al 1%

\* Significativo al 5%

A. Posición radial (albura, duramen)

B. Dirección de flujo (tangencial, radial)

C. Altura de corte en el fuste.

### PRUEBA DE DUNCAN

#### POSICION RADIAL

	Duramen	Albura
Albura	4.684	-----
Duramen	-----	-----

## DIRECCION DE FLUJO

	Radial	Tangencial
Tangencial	2.368	-----
radial	-----	-----

## ALTURAS DE CORTE EN EL FUSTE

	Altura 4	Altura 3	Altura 2	Altura 4
Altura 1	2.947	2.170	1.254	-----
Altura 2	1.693	0.916	-----	-----
Altura 3	0.777	-----	-----	-----
Altura 4	-----	-----	-----	-----

Existen diferencias entre los tratamiento para posición radial, dirección de flujo y alturas de corte en el fuste para la prueba Duncan.

## PRUEBA F PARA COEFICIENTE DE ABSORCION

Tratam.	G.L.	S.C	F=SC/GL	F <sub>0.95</sub>	F <sub>0.99</sub>
T	15	0.153			
A	1	0.094	23.70**	4.49	8.53
B	1	0.026	6.50*		
C	3	0.006	0.50	3.24	5.29
AB	1	0.014	2.80		
AC	3	0.003	0.29		
BC	3	0.005	0.44		
ABC	3	0.025	2.20		
E	16	0.057			
TOTAL	31				

\*\* significativo al 1%

\* Significativo al 5%

## APENDICE 5

### COEFICIENTE DE CORRELACION

#### VOLUMETRICO

ALBURA n=33

	D	H	FE
D	1		
H	0.691	1	
FE	0.180	0.203	1

DURAMEN n=33

	D	H	FE
D	1		
H	0.562	1	
FE	0.190	0.091	1

#### ALBURA

FLUJO TANGENCIAL n=33

	D	H	CA	FE
D	1			
H	0.701	1		
CA	0.516	0.259	1	
FE	0.359	0.437	-0.038	1

## FLUJO RADIAL n=34

	D	H	CA	FE
D	1			
H	0.651	1		
CA	0.690	0.590	1	
FE	- 0.067	0.025	0.053	1

**DURAMEN**

## FLUJO TANGENCIAL n=34

	D	H	CA	FE
D	1			
H	0.377	1		
CA	0.321	-0.078	1	
FE	0.200	0.284	-0.008	1

## FLUJO RADIAL n=34

	D	H	CA	FE
D	1			
H	0.348	1		
CA	0.364	0.236	1	
FE	0.374	-0.175	0.280	1

D = Densidad

H = Hinchamiento

CA= Coeficiente de absorción

FE= Fibra en espiral



**ANEXO 1**

El método de absorción de agua descrito en la norma Japonesa JIS 2104, que consiste en sumergir las probetas (en un baño termostático) a 50 mm de la superficie del agua, la cual se mantiene a una temperatura de  $20 \pm 1$  °C, fue aplicado, colocando las probetas paralelamente unas de otras e igualmente sumergidas, lo que se logró con una plataforma de vidrio que las mantuvo en la posición deseada (Fig. 1)

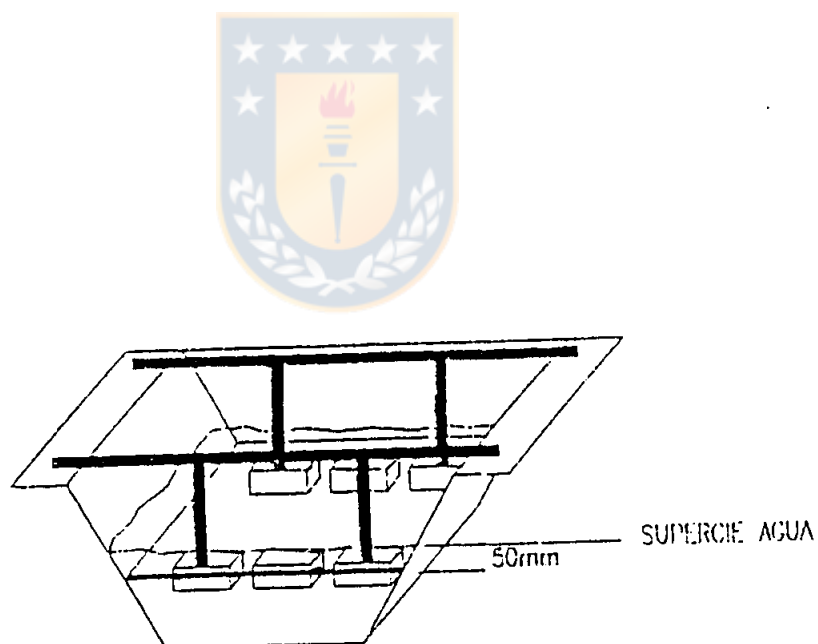


Figura 1 Posición correcta de las probetas ensayadas en la absorción de agua bajo la norma Japonesa.

El calculo del coeficiente de absorción del agua se realiza por la fórmula siguiente

$$B = \frac{W_2 - W_1}{A} \dots \dots \dots \text{g/cm}^2$$

donde :

- B : Cantidad de absorción de agua . . . . . g/cm<sup>2</sup>  
W<sub>1</sub> : Peso de la probeta luego de pintada . . . g  
W<sub>2</sub> : Peso de la probeta luego de la absorción  
del agua . . . . . g  
A : Area total de absorción . . . . . cm<sup>2</sup>

