

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento Silvicultura

ESTUDIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA DE  
ARBOLES DE DISTINTA CLASE DE COPA EN UN RODAL  
ADULTO DE Pinus radiata D. Don.



Por

MAURICIO EDUARDO SEPULVEDA MARKLEIN

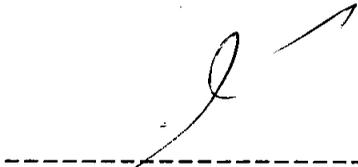
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA  
A LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD  
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1995

ESTUDIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA DE  
ARBOLES DE DISTINTA CLASE DE COPA EN UN RODAL  
ADULTO DE Pinus radiata D.Don.

Profesor Asesor



---

Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal Ph.D.

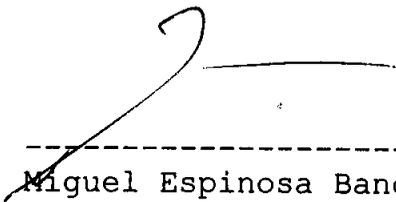


Profesor Asesor



---

Roberto Melo Sanhueza  
Profesor  
Ingeniero Civil Químico.



---

Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal Ph.D.  
Director Departamento  
Silvicultura.



---

Dr. Jaime Millán Herrera  
Profesor  
Ingeniero Forestal  
Decano Facultad de  
Ciencias Forestales.

## DEDICATORIAS

A DIOS,

MI FAMILIA

Y A MI SOBRINA JAVIERA.



## **AGRADECIMIENTOS**

El autor desea expresar sus agradecimientos a las personas que de una u otra forma posibilitaron la realización y feliz término del presente estudio.

Gran colaboración fue entregada por la Universidad de Concepción, especialmente representada en los profesores Roberto Melo Sanhueza, Miguel Espinosa Bancalari y Jorge Cancino Cancino, quienes con su constante apoyo y entrega de experiencia, respaldaron al autor en el desarrollo del estudio.

A Jorge Baldini Cartes, Jorge Rodríguez Guzmán, Christian Carrasco Romero y al personal del Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción.

## INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION .....	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA .....	2
	2.1 Densidad básica de la madera .....	2
	2.2 Longitud de fibra y "coarseness" de la madera .....	8
III	MATERIALES Y METODOS .....	12
	3.1 Descripción del área de estudio ....	12
	3.2 Descripción del rodal en estudio ...	13
	3.3 Metodología .....	13
	3.3.1 Trabajo en terreno .....	14
	3.3.2 Determinación de la densidad básica de la madera .....	15
	3.3.3 Determinación de longitud de fibra y "coarseness" .....	17
	3.3.4 Análisis de datos .....	18
IV	RESULTADOS Y DISCUSION .....	20
	4.1 Densidad básica de la madera .....	20
	4.2 Longitud de fibra .....	27
	4.3 "Coarseness" .....	33

<b>CAPITULO</b>	<b>PAGINA</b>
4.4 Relación entre densidad básica y espesor de anillo de crecimiento ..	37
4.5 Relación entre densidad básica y altura relativa.....	41
V CONCLUSIONES .....	42
VI RESUMEN .....	44
SUMMARY .....	46
VIII BIBLIOGRAFIA .....	47



## INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	En el texto.	
1	Clase diamétrica y desviación estándar por clase de copa .....	14
2	Valores promedio de densidad básica a la altura de tocón según número de anillos para las tres clases de copa .....	22
3	Valores promedios de densidad básica según altura de fuste para las tres clases de copa .....	23
4	Valores promedio de densidad básica según altura relativa para las tres clases de copa .....	26



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	En el texto.	
1	Diagrama esquemático de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol	16
2	Rodela seccionada en ocho cuñas .....	17
3	Densidad básica de la madera a la altura de tocón según número de anillo para las tres clases de copa .....	21
4	Densidad básica de la madera según altura de fuste para las tres clases de copa ....	24
5	Densidad básica de la madera según altura relativa para las tres clases de copa ....	27
6	Longitud de fibra a la altura de tocón según número de anillos para las tres	
7	Longitud de fibra a la altura media según número de anillos para las tres clases de copa .....	29
8	Longitud de fibra a la altura C3 (Base último tercio copa viva) según número de anillos para las tres clases de copa .....	29
9	Longitud de fibra según posición en el fuste para las tres clases de copa .....	31
10	Longitud promedio de fibra según clases	
11	"Coarseness" a la altura de tocón según número de anillo para las tres clases de copa .....	34
12	"Coarseness" a la altura media según número de anillo para las tres clases de copa ...	35

13	"Coarseness" a la altura C3 (Base último tercio base copa viva) .....	35
14	"Coarseness" según altura de fuste para las tres clases de copa .....	36
15	"Coarseness" según clases de copa .....	37
16	Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo de crecimiento promedio de la parte basal de los árboles, correspondiente a las rodelas del tocón (T) y el dap (D) .....	39
17	Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo de crecimiento promedio de la parte media de los árboles, correspondiente a las rodelas F1 a F5 ....	39
18	Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo de crecimiento promedio de la copa de los árboles, correspondiente a las rodelas F1 a F5 .....	40
19	Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo de crecimiento promedio en el árbol completo .....	40
20	Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo promedio en el árbol completo .....	41

## I. INTRODUCCION.

El cultivo de pino radiata ha demostrado ser la base del desarrollo forestal en Chile. La madera de esta especie es utilizada en diversos usos y requerida para la elaboración de una variedad de productos, dicha utilización requiere un conocimiento amplio y preciso de sus propiedades.

La densidad básica es una de las propiedades de la madera que más influye en su utilización. Es una variable de suma importancia que influye en los costos de transporte, en los rendimientos de pulpa para la industria papelera y en una serie de parámetros de calidad del papel, como por ejemplo el índice de rasgado y explosión (Cown y Kibblewhite, 1980). Otra propiedad de importancia es la longitud de fibra, por su efecto, al igual que el "coarseness", en la resistencia del papel (Kibblewhite, 1980).

El presente estudio se realizó con el fin de analizar la densidad básica, longitud de fibra y "coarseness" de la madera en árboles de distinta clase de copa en un rodal de **Pinus radiata** D. Don de 52 años de edad.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

### 2.1 Densidad básica de la madera.

La densidad básica de la madera, que se define como la cantidad de madera seca por unidad de volumen verde (Cown, 1980), es uno de los criterios más importantes para determinar la calidad de la madera, puesto que se relaciona directamente con la resistencia de la madera y con los rendimientos de pulpa para la industria papelera (Daniel et al., 1982). Además, la densidad básica de la madera influye en los costos de transporte, en los requerimientos de energía para el proceso de pulpaje y en la calidad del papel (Cown y Kibblewhite, 1980).

Un aumento de la densidad básica de la madera trae beneficios en el proceso de pulpaje y producción de papel, tales como aumento del rendimiento de cocción, disminución del específico de álcali y aumento del rendimiento en el proceso de blanqueado (Céliz y Fernández, 1987; citados por González, 1987). Además, el índice de rasgado del papel se ve incrementado con el aumento de la densidad básica de la madera de pino radiata (Kerr y Swann, 1980; Uprichard, 1980).

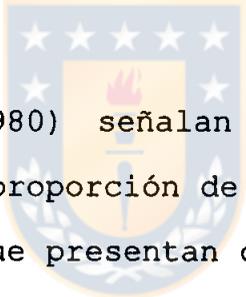
Por su parte, Cown y Kibblewhite (1980) señalan que altas densidades de la madera incrementarían los beneficios en el proceso de pulpaje al disminuir el consumo de madera por tonelada de pulpa producida. En general, todas las propiedades de la pulpa están estrechamente relacionadas con la densidad básica de la madera pulpable (Kerr y Swann, 1980).

La densidad básica es un importante parámetro del pulpaje kraft de pino radiata, expresada en una combinación de características tales como diámetro celular, espesor de pared y porcentaje de leño tardío (Cown y Kibblewhite, 1980).

La densidad de la madera en pino radiata no sólo varía a través de la altura del árbol (Cown, 1973; Cown y McConchie, 1980; González, 1987; Ortiz, 1965), sino también con el número de anillo de crecimiento desde la médula hacia la corteza de una forma muy definida (Burdon y Harris, 1973; Cown, 1973; Cown, 1980; Cown y Kibblewhite, 1980; Cown y McConchie, 1980; González, 1987; Kerr y Swann, 1980; Malan, 1989; Ortiz, 1965; Uprichard, 1980).

La densidad de la madera es altamente dependiente de la edad del árbol (Cown y McConchie, 1982; Kerr y Swann, 1980). En pino radiata crecido en sitios similares en Isla

del Norte, Nueva Zelandia, Cown y McConchie (1982) determinaron que la densidad se incrementó en un 29% entre árboles de 12 y 52 años de edad; éstos últimos presentaron una densidad básica promedio de  $420 \text{ kg/m}^3$ . Kibblewhite (1980) determinó que la densidad básica en pino radiata se incrementa desde  $385 \text{ kg/m}^3$  en el anillo número 10, a  $526 \text{ kg/m}^3$  en el anillo número 40. Por su parte McCully y Hongladarom, en un estudio no publicado, citados por Kerr y Swann (1980), determinaron a la altura de tocón una densidad básica de  $452 \text{ kg/m}^3$  en árboles de pino radiata de 50 años de edad.



Díaz-Vaz y Ojeda (1980) señalan que la densidad de la madera depende de la proporción de madera tardía y temprana y de las densidades que presentan cada una de ellas. Por su parte, González y Molina (1989) afirman categóricamente que la madera de pino radiata experimenta un incremento en la densidad a medida que aumenta la edad y se debe principalmente al aumento del grosor de las paredes celulares de madera de verano y al aumento del porcentaje de ésta en el anillo a medida que la edad se incrementa.

En general, los árboles dominantes jóvenes que tienen grandes copas producen una mayor proporción de madera de primavera que madera de verano por lo que su densidad es menor; al contrario, los árboles cuyas copas son más

pequeñas, incluidos los individuos suprimidos, producen una mayor proporción de madera de verano y por ello su densidad es también mayor (Pillow, 1954; Larson, 1964; Elliot, 1970; citados por Daniel et al., 1982). Wellwood (1960) en un estudio realizado en Tsuga heterophylla (Rafn.) Sarg. señala que la densidad decrece con el mejoramiento de la clase de copa, pero no significativamente; árboles dominantes tienen una menor densidad de la madera que árboles codominantes e intermedios.

Diversos estudios se han referido al efecto de la tasa de crecimiento en la densidad de la madera. Cown y McConchie (1982) afirman que la tasa de crecimiento tiene un mínimo efecto en la densidad de la madera. Por su parte, Bamber y Burley (1983) no encontraron una relación consistente entre tasa de crecimiento y densidad de la madera, aseverando que los efectos de la relación entre madera juvenil y madera madura son mayores que los causados por tratamientos silviculturales. De la misma forma, Zobel (1988) afirma que es un error confundir los efectos de un crecimiento rápido en la densidad de la madera, con los de una cosecha temprana con una alta proporción de madera juvenil. Además, señala que la razón de por qué los anillos anchos parecen estar relacionados con una baja densidad de la madera, es porque éstos se forman generalmente en la madera juvenil, que según Cown (1992b), en pino radiata crecido en Nueva

Zelandia, comprende los primeros 10 anillos de crecimiento y se caracteriza por presentar fibras cortas y una baja densidad de la madera. Por su parte Sutton (1985), citado por González (1987), afirma que "hechos los análisis de laboratorio, ha quedado demostrado, en forma contundente, que la rapidez de crecimiento no influye en las propiedades mecánicas de la madera. Lo importante no es el ancho, sino la edad del anillo, vale decir el año en que creció". Harris (1971), sostiene que para Pinus contorta Dougl. en los 10 anillos más viejos, aunque la tasa de crecimiento puede estar significativa e inversamente relacionada con la densidad de la madera, no se recomienda una reducción en la tasa de crecimiento con el interés de incrementar la densidad de la madera. DeBell et al. (1993) afirman que en Tsuga Heterophylla (Rafn.) Sarg. la densidad de la madera está negativamente relacionada con la tasa de crecimiento en los anillos 20 a 24 desde la médula en árboles de 38 y 29 años de edad.

El efecto que tienen los fertilizantes y los raleos sobre la densidad de la madera son variados; si el tratamiento afecta la proporción relativa de madera temprana en un anillo elevándola, la densidad disminuye; si se eleva el porcentaje de madera tardía, la densidad aumenta (Daniel et al., 1982).

McKinnell (1989) señala que el crecimiento de madera temprana y tardía en pino radiata es estimulado por fertilización, principalmente el primero, resultando en una disminución del porcentaje de madera tardía y de la densidad de la madera. Además, Kininmonth y Whitehouse (1992) afirman que la fertilización con nitrógeno en pinos produce madera de baja densidad y una tendencia a extender el período de producción de madera juvenil.

En cuanto al efecto de los raleos sobre la densidad de la madera, González (1987) señala que existe efecto significativo de la intensidad de raleo sobre la densidad aparente básica intraincremental de la madera de pino radiata. Por su parte Siemon (1989) determinó que el raleo, redujo la densidad media de la madera y el porcentaje de madera tardía en un estudio realizado en Australia en un rodal de pino radiata de 23 años de edad. Cown (1973) determinó, para la misma especie, una diferencia de un 7% en la densidad de la madera en árboles raleados y podados intensamente y árboles no intervenidos, permaneciendo el efecto 2 a 3 años después del tratamiento. Contrariamente, Sutton y Harris (1974) determinaron diferencias no significativas entre árboles intensa y moderadamente raleados. Cown (1974) afirma que a pesar que la densidad básica de la madera se redujo mediante el raleo, el efecto no fue significativo. Cown (1992a), sostiene que las

investigaciones han establecido que los efectos que tienen el espaciamiento y el raleo en las propiedades de la madera han sido temporales y cambios dramáticos en el ancho de anillo han demostrado tener un pequeño efecto en la densidad de la madera.

Con respecto al efecto que tiene la poda en la densidad de la madera, Cown (1973) señala que mientras la remoción del 35% de la copa no fue significativo, la remoción del 60% de la copa produjo un marcado incremento en la densidad de la madera de pino radiata; sin embargo, este efecto fue sólo temporal.

## **2.2 Longitud de fibra y "coarseness" de la madera.**

En la actualidad la longitud de fibra no es un criterio tan importante para determinar la calidad de la madera como fue hace algunos años, gracias a los avances tecnológicos de la fabricación del papel, pero sigue siendo importante ya que las fibras confieren resistencia a la madera y le dan al papel resistencia al rasgado y al dobléz (Daniel et al., 1982).

Las propiedades de resistencia del papel dependen de las dimensiones de la fibra (Uprichard, 1980). Existe una

correlación positiva entre longitud de fibra e índice de rasgado (Cown and Kibblewhite, 1980).

La longitud de fibra se incrementa con el aumento del número de anillo (Cown, 1980; Cown and McConchie, 1980; Kibblewhite, 1980; Uprichard, 1980). La longitud de fibra aumenta también con la altura del árbol más o menos hasta la mitad y luego disminuye (Cown, 1980). Daniel et al. (1982) afirman que las fibras de mayor tamaño se encuentran en la base de copa viva.

Cown y McConchie (1982), en un estudio realizado en Nueva Zelanda, determinaron que la longitud de fibra se incrementaba desde 2,5 mm en árboles de pino radiata de 12 años, a 3,4 mm en árboles de 24 años y 3,5 mm en árboles de 52 años. Kerr y Swann (1980), citando un estudio no publicado de McCully y Hondaglarom, exponen que la longitud de fibra para pino radiata creciendo en Nueva Zelanda, aumentaba desde 3,19 mm en árboles de 13 años, a 3,63 mm en árboles de 50 años. Por su parte, Kibblewhite (1980) señala que la longitud de fibra, en pino radiata, aumento de 3,3 mm en el anillo número 10, a 3,6 mm en el anillo número 40.

De acuerdo a Nicholls y Dadswell (1962) y Uprichard (1980), la proporción de madera de verano está relacionada directamente con la longitud de fibra, luego al existir una

mayor proporción de madera de verano se tendrá una mayor proporción de fibras de mayor longitud.

Wellwood (1960), en un estudio realizado en la especie **Tsuga heterophylla ( Rafn.) Sarg.**, afirma que la clase de copa tienen un efecto aparente en la longitud de fibra y que los árboles codominantes tienen fibras más largas que los árboles dominantes y suprimidos.

Los incrementos de la tasa de crecimiento que ocurren después del raleo y fertilización pueden ir acompañados, en las coníferas, con una disminución en la longitud de fibra (Daniel et al., 1982). Cown (1973) sostiene que la longitud de fibra, en pino radiata, es apreciablemente alterada por la tasa de crecimiento radial y, al igual que Nicholls y Dadswell (1962), afirma que existe una relación negativa entre longitud de fibra y ancho de anillo. Cown (1974) señala que el raleo, en pino radiata, contribuye a la disminución de la longitud de fibra y que este efecto es significativo sólo en la porción baja del fuste.

El "coarseness" se define como el peso por unidad de longitud de fibra expresado en miligramos por 100 metros de fibra (Tappi Test Methods, 1989). La misma publicación afirma que el "coarseness" tiene un importante efecto en las propiedades del papel. Por ejemplo, influye en la

resistencia del papel y en la tersura del mismo. Además está fuertemente relacionado con el índice de explosión del papel (Kibblewhite, 1980).

El aumento del "coarseness" con el número de anillo es señalado por Kibblewhite (1980) al determinar que aumentaba de 17,44 mg/100m en el anillo número 10, a 21,73 mg/100m en el anillo número 40. Kibblewhite y Bawden (1993) al comparar maderas provenientes de raleos de rodales de pino radiata con edades entre 8 y 18 años, determinaron un aumento del "coarseness" con la edad. Además, encontraron una alta correlación entre el "coarseness" y longitud de fibra y una alta correlación positiva entre el "coarseness" y el área de pared de la fibra. Cown (1992) señala que el "coarseness" de la madera madura es más alto que el de madera juvenil.

### III. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1 Descripción del área de estudio.

La información utilizada en el estudio el estudio fue recolectada desde el predio Pinares, de propiedad de Forestal Mininco S.A., el cual se encuentra ubicado en la comuna de Concepción, VIII región, a 8 km al sur de esta ciudad, por el camino a Santa Juana.

La precipitación media anual del área de estudio es de 1.338 mm con una distribución de 369 mm en otoño (28%), 687 mm en invierno (51%), 217 mm en primavera (16%) y sólo 65 mm en verano. La temperatura media anual alcanza a los 13°C, siendo la media máxima de enero de 25.1°C y registrándose una media de enero de 17.8°C y en julio de 9.1°C (Almeyda y Sáez, 1958).

El sector presenta una topografía abrupta con pendientes que oscilan entre 38% a 95%. El suelo pertenece a la serie Nahuelbuta presentando textura franco arcillosa densa en los primeros 25 cm con una densidad de 1.19 g/cc; en el horizonte comprendido entre 25 y 75 cm la textura es franco limosa con una densidad de 1.25 g/cc. Además, esta serie presenta limitantes físicas para el cultivo de pino

radiata, como por ejemplo la erosión de manto intensa que afecta todas las áreas de pendientes fuertes (Carrasco y Millán, 1990)

### **3.2 Descripción del rodal en estudio.**

El rodal fue establecido el año 1941; alcanzaba los 52 años al momento del estudio.

De acuerdo a la información entregada por la empresa Forestal Mininco S. A., el rodal abarca una superficie cercana a las 4 hectáreas con una densidad media de 564 arb/ha y un área basal promedio de 90.89 m<sup>2</sup> /ha. Según la clasificación de calidad, basada en el aspecto morfológico del fuste y estandarizada por dicha empresa, el 58.51% del área basal corresponde a árboles de calidad 1.

### **3.3 Metodología.**

Para la obtención de los árboles muestra se realizó una estratificación de las clases diamétricas en base la distribución del número de árboles por hectárea. Para tal efecto se utilizó la información facilitada por Forestal Mininco S.A., la que consistió en tablas de rodal y existencia confeccionadas por dicha empresa.

Se diferenciaron tres clases diamétricas, correspondiendo éstas a los árboles intermedios, codominantes y dominantes, a cada una de los cuales se les determinó el diámetro de área basal promedio, el cual representó el criterio de elección de los árboles en terreno (Tabla 1). El número de unidades muestrales fue de cuatro árboles por clase de copa, completando un número total de 12 unidades muestrales.

**TABLA 1.** Clase diamétrica y desviación estándar por clase de copa.

CLASE DE COPA	CLASE DIAMETRICA (cm)	DESVIACION ESTANDAR (cm)
INTERMEDIOS	32.0	5.1
CODOMINANTES	50.0	5.8
DOMINANTES	66.0	2.8

### 3.3.1 Trabajo en terreno.

Se seleccionaron 4 árboles por rango diamétrico, totalizando 12 unidades muestrales. A estos árboles se les midió, antes del volteo, el diámetro a 1.30 m del suelo,

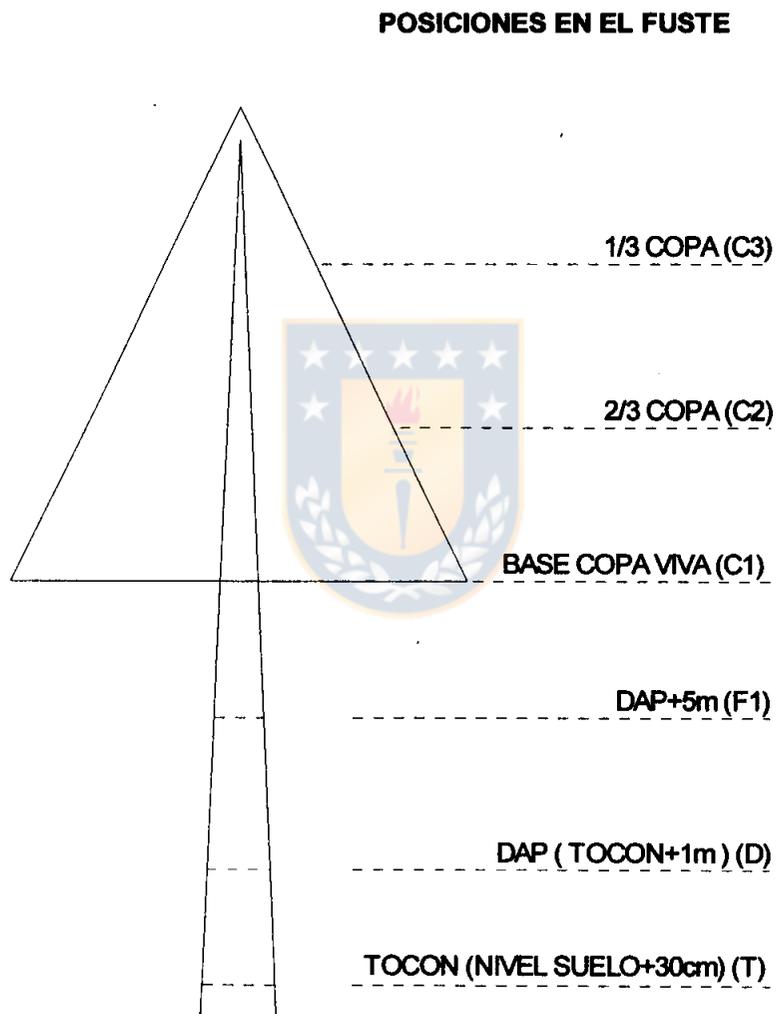
el diámetro a 0.3 m del piso forestal y se determinó su clase de copa.

Después del volteo se procedió a medir la longitud total del árbol y la longitud de la copa viva (incluyendo la altura de tocón), marcándose la base de la copa viva. Se cortaron discos de 2 a 4 cm de espesor en el tocón (T), a la altura de pecho (D), y después a intervalos de 5 m (F1, F2, ...) hasta la base de la copa viva. La copa viva se dividió en tres tercios o secciones de igual longitud a lo largo del fuste principal y en la base de cada tercio se cortaron discos (Fig 1).

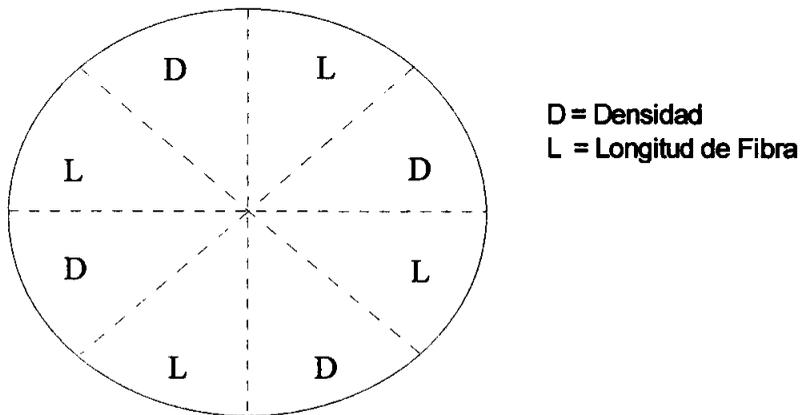
### **3.3.2 Determinación de la densidad básica de la madera.**

Para determinar la densidad básica promedio de la madera, por rodela, y la densidad básica intraincremental, todas las rodela se seccionaron en ocho cuñas (Fig. 2); cuatro de ellas se utilizaron para determinar la densidad promedio y las otras cuatro para determinar la densidad intraincremental, longitud de fibra y "coarseness". La densidad intraincremental se determinó, a la altura de tocón, en sectores de crecimiento radial 10 años.

La densidad se determinó por inmersión en agua para obtener el volumen; luego para obtener el peso seco las muestras se secaron por 48 horas en un horno a 100°C aproximadamente.



**FIGURA 1.** Diagrama esquemático de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol.



**FIGURA 2.** Rodela seccionada en 8 cuñas.

### **3.3.3 Determinación de longitud de fibra y "coarseness".**

Se seleccionaron aleatoriamente 3 árboles de los ya extraídos en terreno, 1 por cada clase de copa, determinándose longitud de fibra y "coarseness" a la rodela del tocón (T), a la rodela más cercana a la mitad de la altura de fuste (M) y a la rodela de la base del último tercio de la copa viva (C3). Además, en cada una de estas rodela, se determinó longitud de fibra y "coarseness" en zonas de crecimiento radial de 10 años.

El procedimiento para determinar longitud de fibra (mm) y "coarseness" (mg/100m) se basó en la metodología descrita

por las normas Tappi Test Methods (1989). El proceso se realizó en el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción.

#### **3.3.4 Análisis de datos.**

En el presente trabajo se realizó una comparación de la densidad básica intraincremental, a la altura de tocón, para sectores de crecimiento de 10 años entre los árboles intermedios, codominantes y dominantes. Se comparó la densidad básica promedio por rodela según nivel de altura de fuste constante entre las clases de copa estudiadas. Además se comparó la densidad básica promedio por rodela según sectores de porcentajes de altura o altura relativa entre las clases de copa; para este análisis se dividió el fuste en 5 sectores de porcentajes de altura. Los valores de densidad promedio por rodela que correspondieron a un sector de altura determinado se promediaron ponderando por volumen y de esta forma se obtuvieron sectores de porcentajes de altura con su respectiva densidad básica. También se comparó la densidad básica promedio del árbol completo entre las clases de copa estudiadas.

Para determinar diferencias significativas, entre las clases de copa, se realizó análisis estadístico siguiendo

un diseño completamente aleatorio con nivel de confianza de 95%.

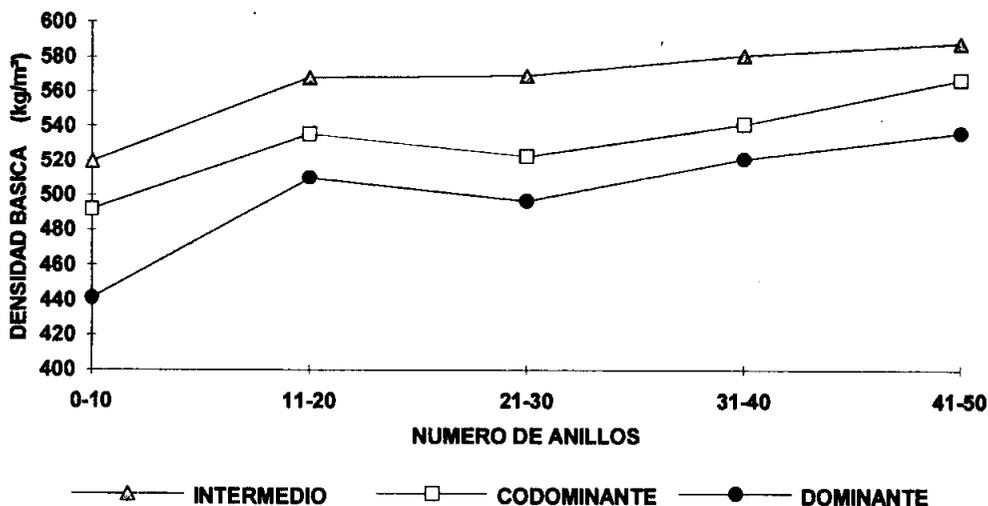
El comportamiento de la densidad básica, longitud de fibra y "coarseness" se analizó gráficamente mediante la construcción de curvas que muestran la variación en forma radial y longitudinal en el árbol.

Se estimaron relaciones matemáticas entre densidad básica intraincremental y espesor de anillo de crecimiento en 6 árboles, 2 por clase de copa; para tal efecto se determinó densidad básica ( $\text{kg/m}^3$ ) en zonas de crecimiento de 10 anillos con su respectivo espesor (mm) en todas las rodela, estimándose relaciones para la parte basal: rodela de altura de tocón (T) y rodela a la altura de pecho (D); para la parte media: rodela de F1 a F5; para la copa: rodela C1, C2 y C3 y se estimó la relación para el árbol completo. Se estimó también la relación entre densidad básica promedio por rodela y altura relativa en los 12 árboles.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

##### 4.1 Densidad Básica de la madera.

El estudio de la densidad básica de la madera en corte transversal a la altura del tocón, en sectores de 10 anillos de crecimiento, para las tres clases de copa, muestra un aumento de la densidad desde el primer período, 0-10 anillos, hasta el período 11-20 anillos para las tres clases de copa; luego existe una leve disminución de la variable excepto en la clase de copa intermedia (Fig 3). El comportamiento de la densidad desde el período 21-30 anillos se caracteriza por un continuo aumento hasta las últimas etapas de crecimiento en las tres clases de copa. La densidad aumenta con el número de anillos desde la médula hacia la corteza, lo que concuerda para la misma especie, con lo expuesto por Burdon y Harris, (1973); Cown, (1973); Cown y Kibblewhite, (1980); Cown y McConchie, (1980); González, (1987); Kerr y Swann, (1980); Malan, (1980); Ortiz, (1965); Uprichard, (1980).



**FIGURA 3.** Densidad básica de la madera a la altura de tocón según número de anillos para las tres clases de copa.

A la altura de tocón se registraron diferencias en la densidad básica de la madera entre las clases de copa; los árboles intermedios tuvieron la mayor densidad en todos los períodos de crecimiento, variando ésta entre 520 kg/m<sup>3</sup> en el período 0-10 anillos y 588 kg/m<sup>3</sup> en el período 41-50 anillos (Fig. 3 y Tabla 2). Sin embargo, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre las tres clases de copa para los distintos períodos de crecimiento (Tabla 2).

**TABLA 2.** Valores promedios de densidad básica a la altura de tocón según número de anillos para las tres clases de copa.

NUMERO DE ANILLOS	CLASE DE COPA			n			
	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE				
0 - 10	520	a	492	a	441	a	2
11 - 20	568	a	536	a	510	a	2
21 - 30	569	a	523	a	497	a	2
31 - 40	581	a	541	a	521	a	2
41 - 50	588	a	567	a	536	a	2

Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre las clases de copa ( $P < 5\%$ , Prueba F).



Los valores de densidad básica obtenidos en el presente estudio son mayores que los expuestos por Kibblewhite (1980), para los mismos períodos de crecimiento, con una densidad básica de  $385 \text{ kg/m}^3$  en el anillo número 10, a  $426 \text{ kg/m}^3$  en el anillo número 40, obtenidos de árboles de la misma especie crecidos en Nueva Zelandia (Tabla 2).

La mayor variación de la densidad intraincremental de médula a corteza, a la altura de tocón, se presentó en los árboles dominantes con un 21 % seguidos por los árboles codominantes e intermedios con un 15% y 13%, respectivamente.

**TABLA 3.** Valores promedio de densidad básica según altura de fuste para las tres clases de copa.

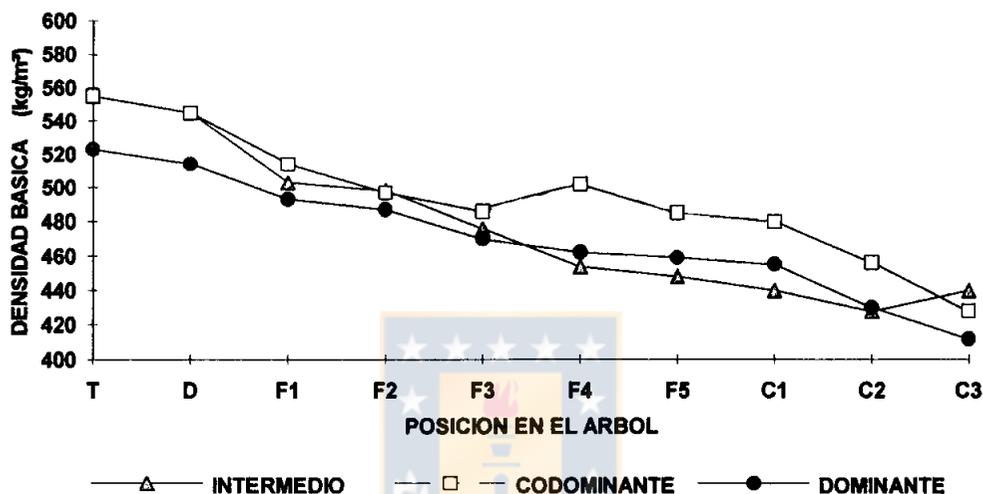
NIVELES DE ALTURA	CLASE DE COPA						n
	INTERMEDIO		CODOMINANTE		DOMINANTE		
T	555	a	555	a	523	a	4
D	545	a	545	a	514	a	4
F1	503	a	514	a	493	a	4
F2	498	a	497	a	487	a	4
F3	476	a	486	a	470	a	4
F4	454	a	502	a	462	a	4
F5	448	a	485	a	459	a	4
C1	440	a	480	a	455	a	4
C2	428	a	456	a	430	a	4
C3	440	a	428	a	412	a	4

Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre las clases de copa ( $P < 5\%$ , Prueba F)

A nivel de altura constante no hubo diferencias significativas para la densidad básica entre las tres clases de copa estudiadas (Tabla 3). No obstante, la clase de copa dominante logra menores valores de densidad en la mayor parte del fuste (Fig. 4).

La densidad básica determinada en el presente estudio a la altura de tocón (Tabla 3) y del árbol completo (Tabla 4), es apreciablemente mayor que la encontrada por Cown y McConchie (1982) en pino radiata de 52 años de edad creciendo en sitios similares en la Isla del Norte, Nueva Zelanda, con una densidad básica promedio por árbol de 420

kg/m<sup>3</sup> y por Kerr y Swann (1980), citando un estudio no publicado de McCully y Hongladarom, en pino radiata de 50 años de edad con una densidad a la altura de tocón de 452 kg/m<sup>3</sup>.



**FIGURA 4.** Densidad básica de la madera según altura de fuste para las tres clases de copa.

No hubo diferencias significativas en la densidad básica, a distintos niveles de porcentaje de altura y del árbol completo (Tabla 4) entre las clases de copa estudiadas. Sin embargo, existen tendencias que indican diferencias entre las clases de copa, si bien no son significativas se deben considerar. La clase de copa codominante presenta la mayor densidad promedio por árbol (Tabla 4) y además, la densidad es mayor, hasta el 40% de la altura, que los árboles

intermedios y mayor a lo largo de todo el fuste con respecto a los árboles dominantes (Fig. 5). La clase de copa dominante muestra la menor magnitud de densidad básica a lo largo del fuste (Fig. 5). Estos resultados coinciden con lo expuesto, para **Tsuga heterophylla (Rafn.) Sarg.**, por Wellwood (1960) que determinó que, en general, la densidad de la madera decrece con el mejoramiento de la clase de copa y que, aunque las diferencias no fueron significativas, los árboles codominantes e intermedios presentaban una mayor densidad que los árboles dominantes. Además, los resultados concuerdan con lo expuesto por Daniel et al. (1982) citando varios autores (Pillow, 1954; Larson, 1964 y Elliot, 1970) que señalan que en general, los árboles dominantes jóvenes que tienen grandes copas tienen menor densidad que los árboles cuyas copas son más pequeñas, incluidos los individuos suprimidos.

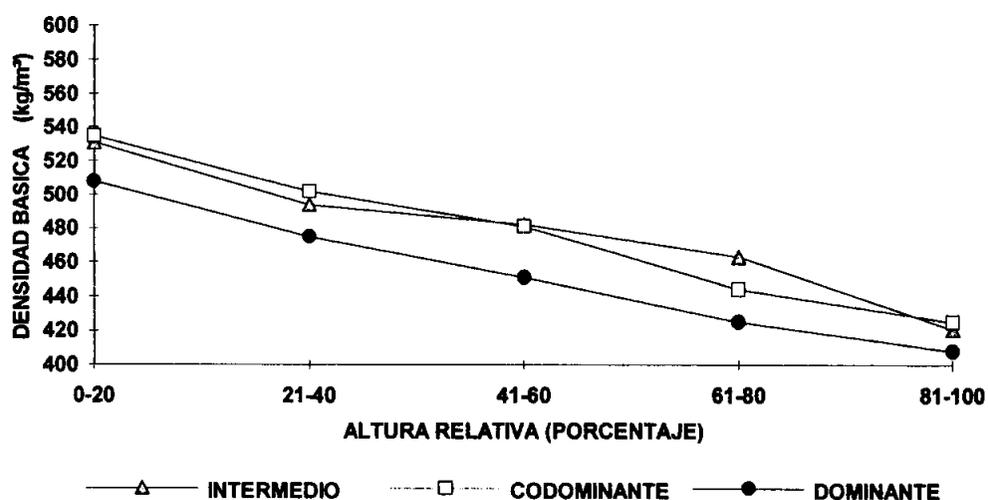
La diferencia en valores absolutos de la densidad básica intraincremental (Fig. 3) y árbol completo (Tabla 4) entre las clases de copa estudiadas está orientada hacia las características individuales de tasa de crecimiento de los árboles estudiados. Diversos estudios se han referido al efecto de la tasa de crecimiento en la densidad de la madera. Cown y McConchie (1982) afirman que la tasa de crecimiento tiene un mínimo efecto en la densidad de la madera. Por su parte, Bamber y Burley (1983) no encontraron

una relación consistente entre tasa de crecimiento y densidad de la madera. Los árboles dominantes mostraron tener la menor magnitud de densidad básica intraincremental a la altura de tocón (Fig. 3), a distintas alturas de fuste (Tabla 4) y árbol completo (Tabla 4). Si se considera que estos árboles tuvieron una mayor tasa de crecimiento que los árboles codominantes e intermedios se podría aventurar, en base a los resultados obtenidos, que la tasa de crecimiento tiene un efecto, aunque no significativo, en la densidad básica de la madera.

**TABLA 4.** Valores medios de densidad básica según altura relativa y árbol completo para las tres clases de copa.

ALTURA RELATIVA	CLASE DE COPA							n
	INTERMEDIO		CODOMINANTE		DOMINANTE			
0 - 20	531	a	535	a	508	a	4	
21 - 40	494	a	502	a	475	a	4	
41 - 60	482	a	481	a	451	a	4	
61 - 80	463	a	444	a	425	a	4	
81 - 100	421	a	425	a	408	a	4	
<b>ARBOL</b>								
<b>COMPLETO</b>	494	a	501	a	478	a	4	

Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre las clases de copa ( $P < 5\%$ , Prueba F).



**FIGURA 5.** Densidad básica de la madera según altura relativa para las tres clases de copa.

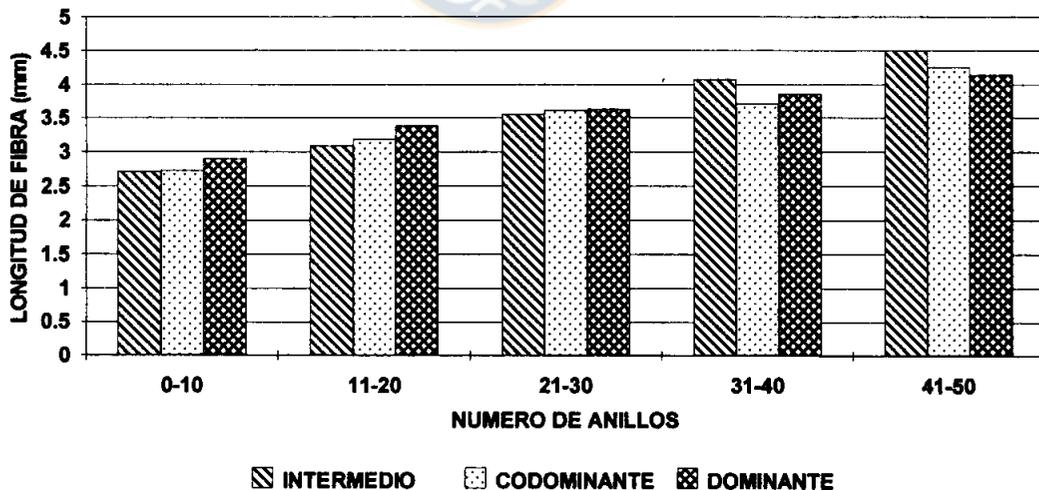
En general, la densidad básica se caracteriza por una continua disminución a medida que aumenta la altura del árbol en las tres clases de copa (Fig 4 y Fig. 5). Lo anterior confirma y concuerda, para la misma especie, con lo planteado por otros autores (Cown, 1973; Cown y McConchie, 1980; González, 1987; Ortiz, 1965).

#### 4.2 Longitud de fibra.

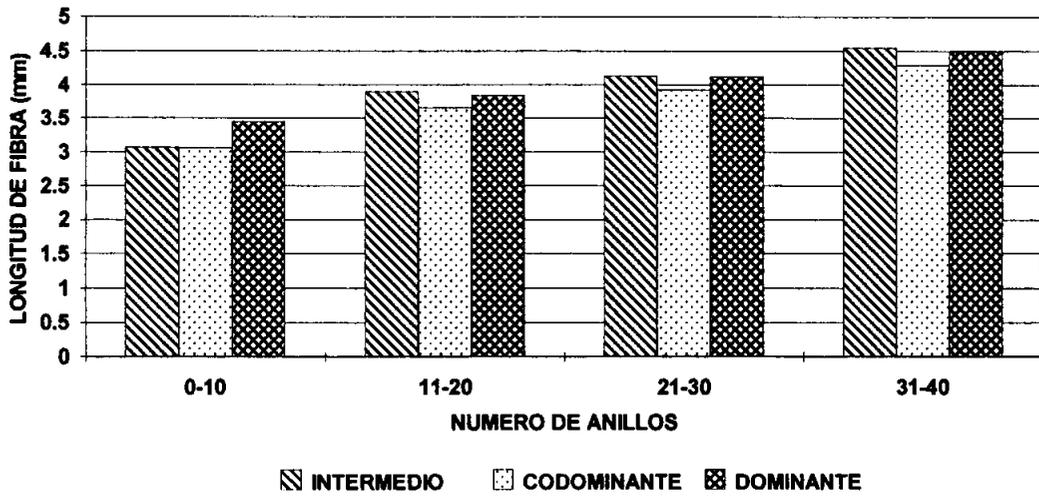
Los resultados obtenidos corresponden a un muestreo limitado sólo a un árbol por clase de copa.

La fluctuación de la longitud de fibra según sectores de crecimiento, desde la médula, a la altura de tocón (T) (Fig. 6); altura media (M) (Fig. 7) y altura base del último tercio de copa viva (C3) (Fig. 8), se caracteriza por un continuo aumento en las tres clases de copa estudiadas.

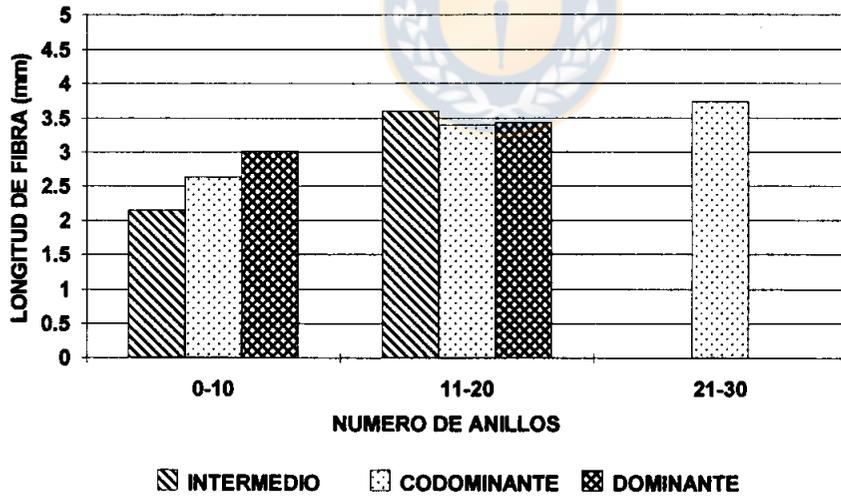
El comportamiento de la longitud de fibra en forma radial en las tres alturas de fuste y en las tres clases de copa estudiadas concuerda con lo señalado en diversos estudios por Cown, (1980); Cown and McConchie, (1980); Kibblewhite, (1980); Uprichard, (1980) en pino radiata. Con el aumento del número de anillo, aumenta la longitud de fibra.



**FIGURA 6.** Longitud de fibra a la altura de tocón según número de anillos para las tres clases de copa.



**FIGURA 7.** Longitud de fibra a la altura media según número de anillos para las tres clases de copa.



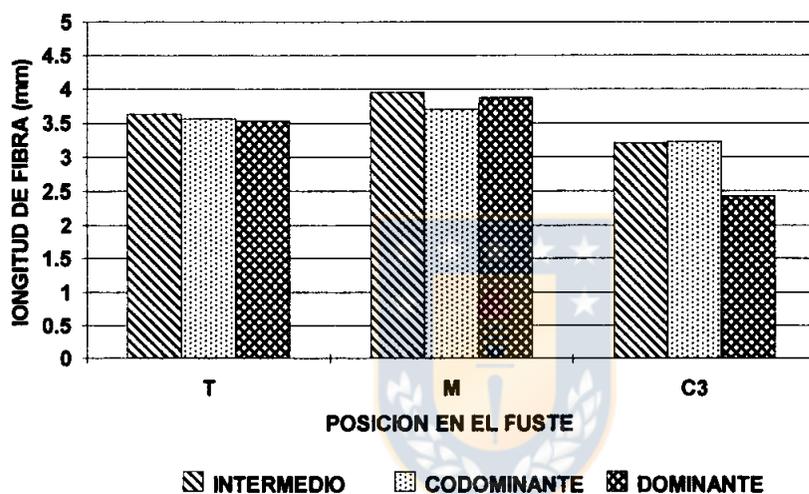
**FIGURA 8.** Longitud de fibra a la altura C3 (base último tercio copa viva) según número de anillos para las tres clases de copa.

La longitud de fibra en la clase de copa intermedia en las tres alturas de fuste, altura tocón (T), altura media (M) y altura base último tercio copa viva (C3) alcanza la menor magnitud que las clases de copa dominante y codominante, en los anillos cercanos a la médula, pero la mayor magnitud en los anillos cercanos a la corteza (Fig. 6, Fig. 7 y Fig. 8).

No se registró información de longitud de fibra en el período 21-30 anillos, a la altura del último tercio de copa viva (C3) (Fig. 8), en los árboles intermedios y dominantes, por tener éstos distintas alturas y longitudes de copa. Por lo tanto, no coincidieron en el número de anillos en la rodela.

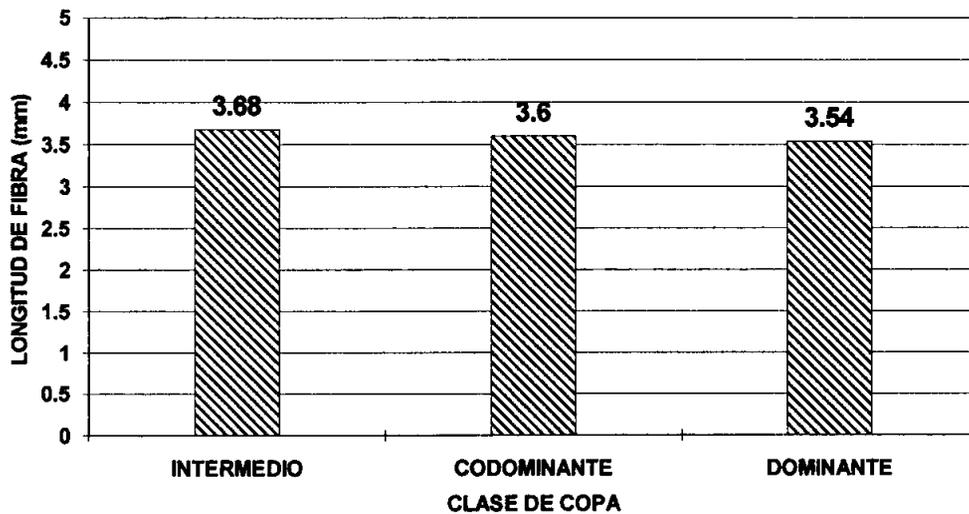
La longitud de fibra (Fig. 9) aumenta desde la altura de tocón (T) hasta la altura media (M) y disminuye luego a la altura de la base del último tercio de la copa viva (C3) en las tres clases de copa estudiadas, teniendo la mayor magnitud los árboles intermedios a la altura tocón y altura media. Los valores de longitud de fibra obtenidos a la altura de tocón (Fig. 9) se asemejan a los expuestos por Kerr y Swann (1980), citando un estudio no publicado de McCully y Hoglagarom con una longitud de fibra, para pino radiata a la altura de tocón, de 3,63 mm en árboles de 50

años de edad. El comportamiento de la longitud de fibra con la altura del árbol, en donde ésta aumenta más o menos hasta la mitad y luego disminuye, concuerda con lo expuesto, para la misma especie, por Cown, (1980) y Bluhm et al., (1963).



**FIGURA 9.** Longitud de fibra según posición en el fuste para las tres clases de copa.

La clase de copa intermedia alcanza la mayor longitud promedio de fibra con 3,68 mm, seguida por la clase de copa codominante con 3,60 mm y luego la clase de copa dominante con 3,54 mm (Fig. 10). Estos resultados son similares a los expuestos por Cown y McConchie (1982) en un estudio realizado en Nueva Zelandia, donde determinaron en pino radiata de 52 años, una longitud de fibra promedio por árbol de 3,5 mm.



**FIGURA 10.** Longitud promedio de fibra según clases de copa.



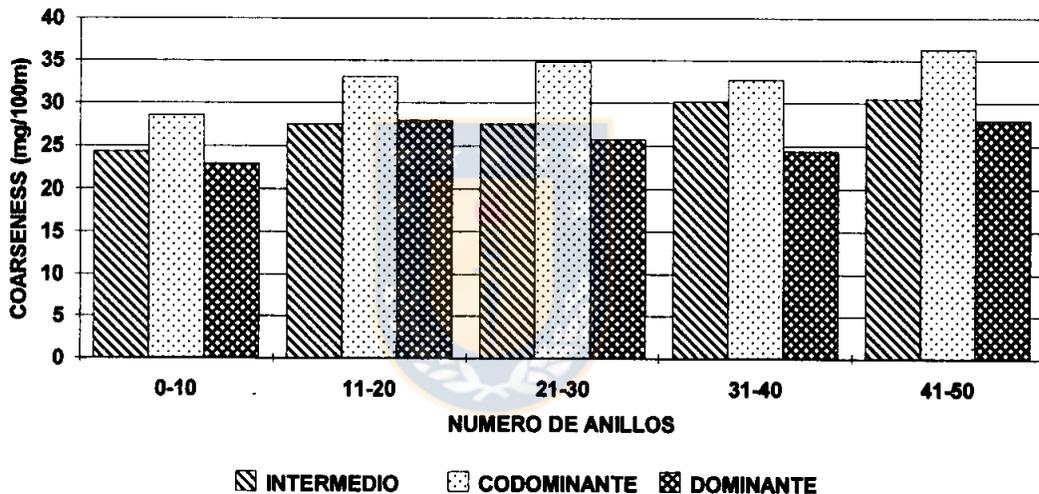
El comportamiento de la longitud de fibra respecto a las clases de copa, está relacionado con las características de cada clase de copa con respecto a la tasa de crecimiento. Los árboles de la clase de copa intermedia tienen una mayor proporción de madera de verano que de primavera que los árboles dominantes y codominantes. De acuerdo a Nicholls and Dadswell (1962) y Uprichard (1980) la proporción de madera de verano en el anillo de crecimiento está relacionada directamente con la longitud de fibra, por cuanto al existir una mayor proporción de madera de verano se tendrá una mayor proporción de fibras de mayor longitud. Wellwood (1960) en un estudio realizado en Tsuga

**heterophylla (Rafn.) Sarg.**, afirma que las clases de copas tienen un efecto aparente en la longitud de fibra y, contrariamente a los resultados del presente estudio, concluye que los árboles codominantes tienen fibras más largas que árboles dominantes e intermedios. Cown (1973) señala que la longitud de fibra es apreciablemente alterada por la tasa de crecimiento radial y Nicholls y Dadswell (1962) afirman que existe una relación negativa entre longitud de fibra y ancho de anillo.

#### 4.3 "**Coarseness**".

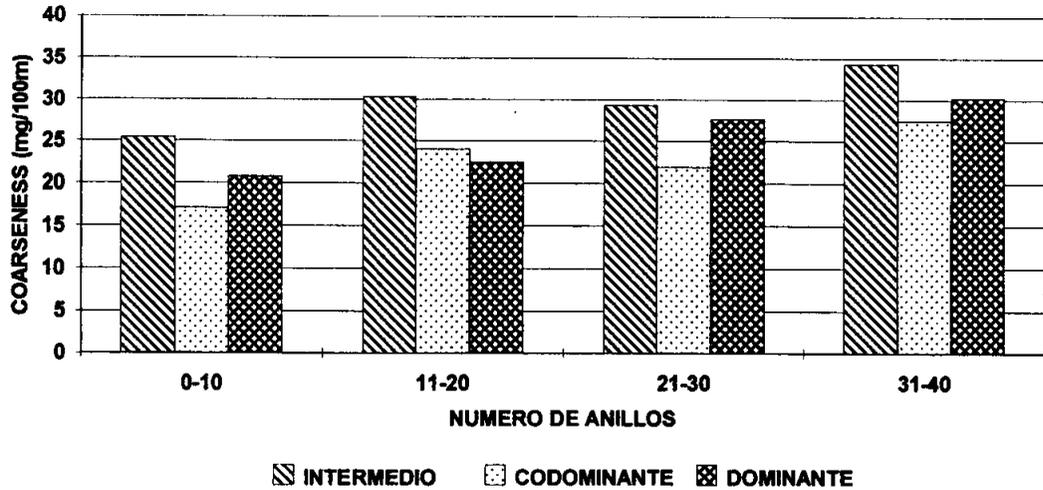
Los árboles codominantes muestran mayor "coarseness" a la altura de tocón (Fig. 11), que los intermedios y los dominantes en todas las etapas de crecimiento, sin observarse una tendencia definida de médula a corteza, en las tres clases de copa estudiadas. Sin embargo, en el estudio a la altura media (Fig. 12) y la altura de la base del último tercio de la copa viva (Fig. 13), el "coarseness" presenta un continuo aumento, de médula a corteza, en las tres clases de copa. Teniendo los árboles intermedios la mayor magnitud a la altura media y los árboles dominantes a la altura de la base del último tercio de la copa viva en todas las etapas de crecimiento. El aumento del "coarseness" con el número de anillo, obtenido en el presente estudio, también es encontrado por

Kibblewhite (1980), quien determinó que el "coarseness" se incrementa de 17,44 mg/100m en el anillo número 10, a 21,73 mg/100m en el anillo número 40. Además, Kibblewhite y Bawden (1993) al comparar maderas provenientes de raleos de rodales de pino radiata con edades entre 8 y 18 años, determinaron un aumento del "coarseness" con la edad. Cown (1992) señala que el "coarseness" proveniente de madera madura es más alto que el de madera juvenil.

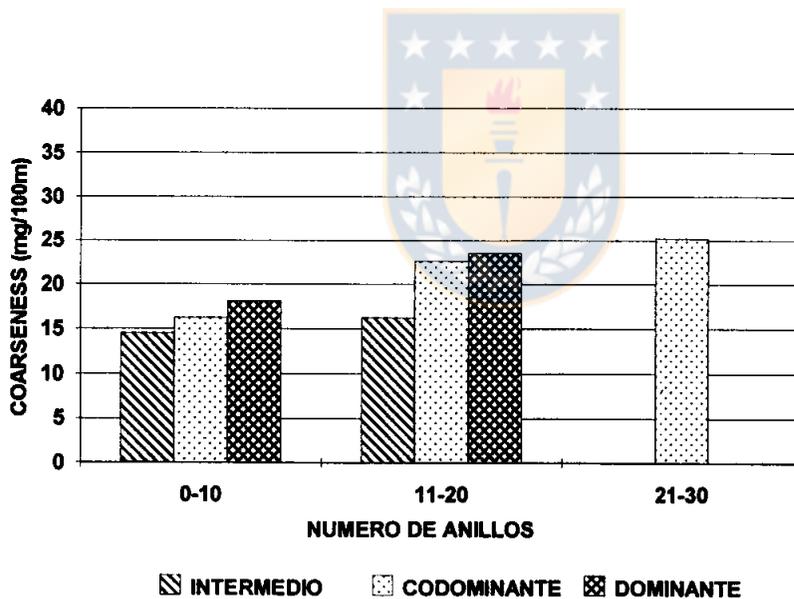


**FIGURA 11.** "Coarseness" a la altura de tocón según número de anillos para las tres clases de copa.

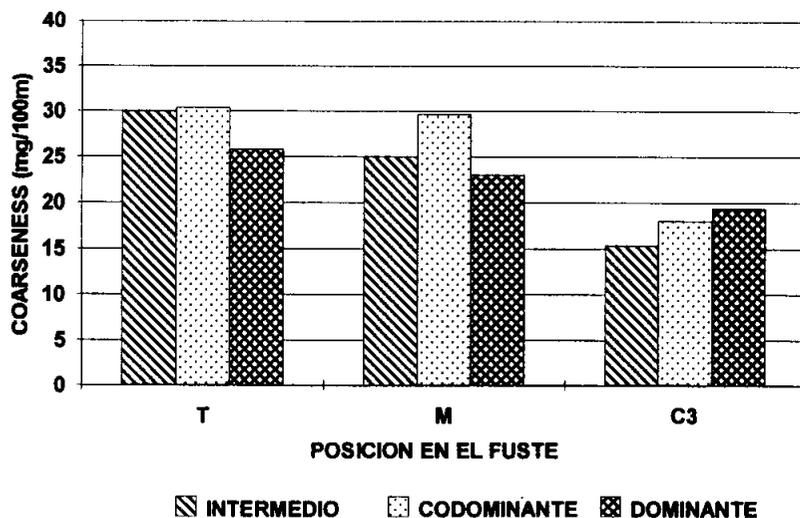
El "coarseness" tiende a disminuir a medida que la altura de fuste aumenta (Fig. 14).



**FIGURA 12.** "Coarseness" a la altura media según número de anillos para las tres clases de copa.

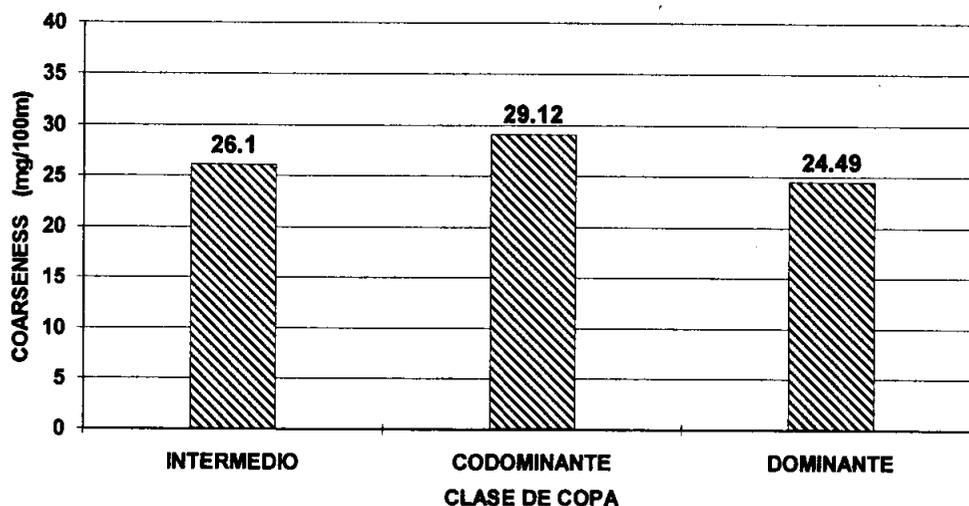


**FIGURA 13.** "Coarseness" a la altura C3 (base último tercio copa copa viva) según número de anillos para las tres clases de copa.



**FIGURA 14.** "Coarsenes" según altura de fuste para las tres clases de copa.

La clase de copa codominante tiene el mayor "coarseness" seguida por los árboles intermedios y dominantes (Fig. 15). La diferencia del "coarseness" entre las clases de copa se explica por la alta correlación que, según Kibblewhite y Bawden (1993), tiene esta variable con la densidad básica de la madera. Los árboles codominantes analizados en el presente estudio tienen la mayor densidad, por lo tanto el "coarseness" debería ser mayor.



**FIGURA 15.** "Coarseness" según clase de copa.

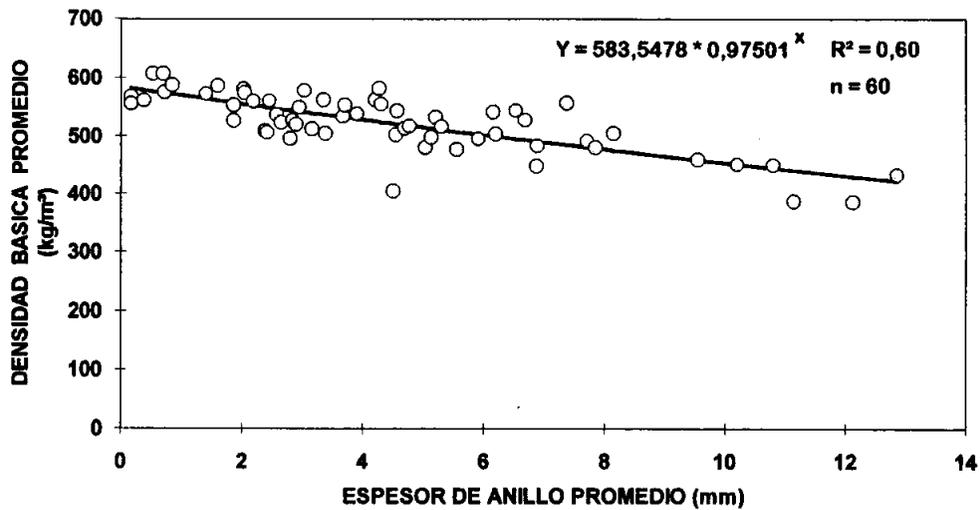
#### **4.4 Relación entre densidad básica y espesor de anillo crecimiento.**

De acuerdo a los datos obtenidos a partir de las rodelas, se determinó que la densidad básica está negativamente correlacionada con el espesor de anillo en la parte basal y media del fuste, en la copa y árbol completo (Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 20). A la altura media del árbol (rodelas F1 a F5) se obtuvo la mejor explicación de la variación de la densidad básica, con un 74 % (Fig. 16), seguidos por la parte basal del fuste con un 60 % de explicación de la variación de la densidad básica y la copa de los árboles con un 41 %. Al estimar la relación en

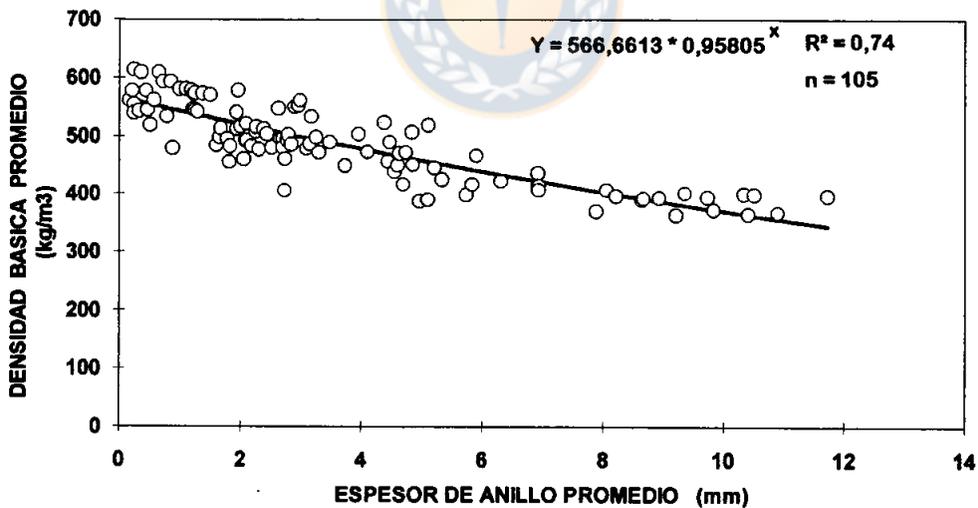
el árbol completo se obtuvo un 32% de explicación de la variación de la densidad básica.

Relaciones negativas entre densidad básica y espesor de anillo de crecimiento fueron encontradas por Harris (1971), que señala, para **Pinus contorta Dougl.** en los 10 anillos más viejos, que el espesor de anillo está significativa e inversamente relacionado con la densidad de la madera. DeBell et al. (1993) afirman que en **Tsuga heterophylla (Rafn.) Sarg.** la densidad de la madera está negativamente relacionada con el espesor de anillo de crecimiento en los anillos 20 a 24 desde la médula en árboles de 38 y 29 años de edad.

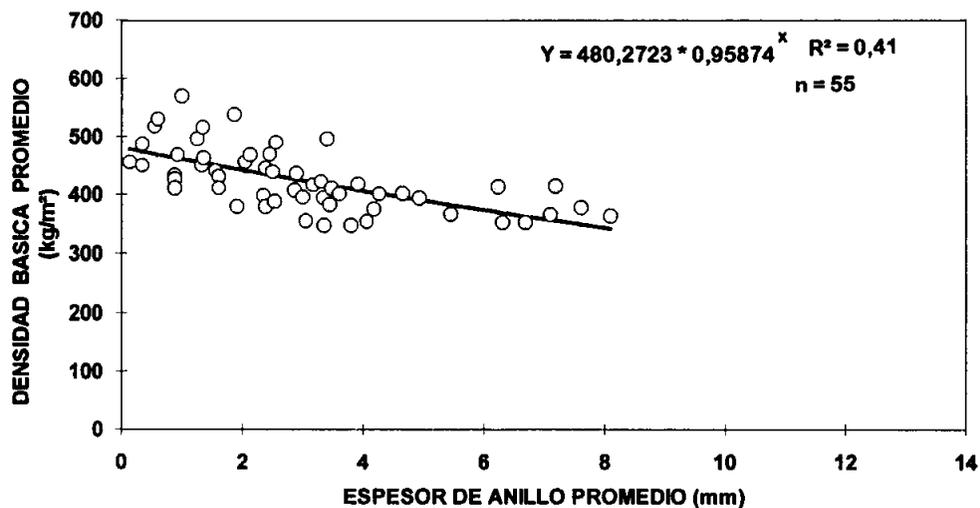




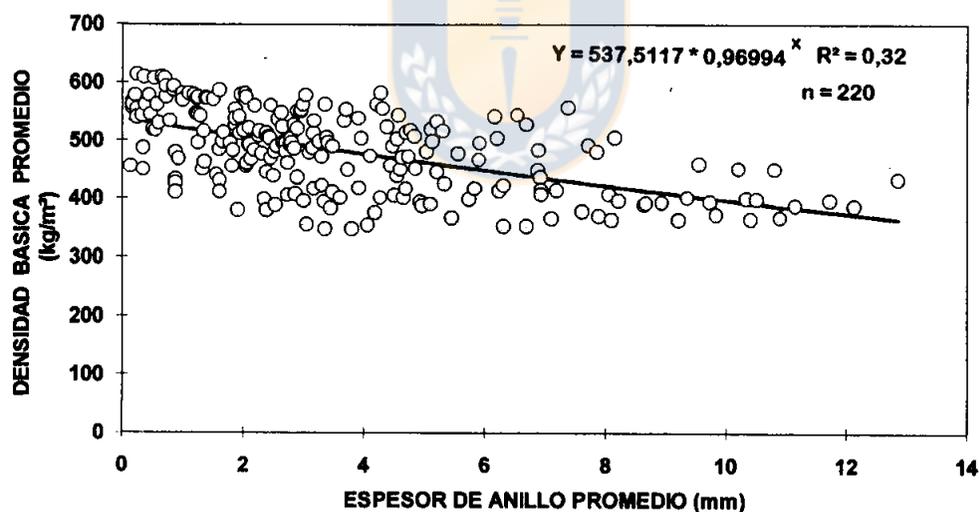
**Figura 16.** Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo promedio de la parte basal de los árboles, correspondiente a las rodelas del tocón (T) y el dap (D).



**Figura 17.** Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo promedio de la parte media de los árboles, correspondiente a las rodelas F1 a F5.



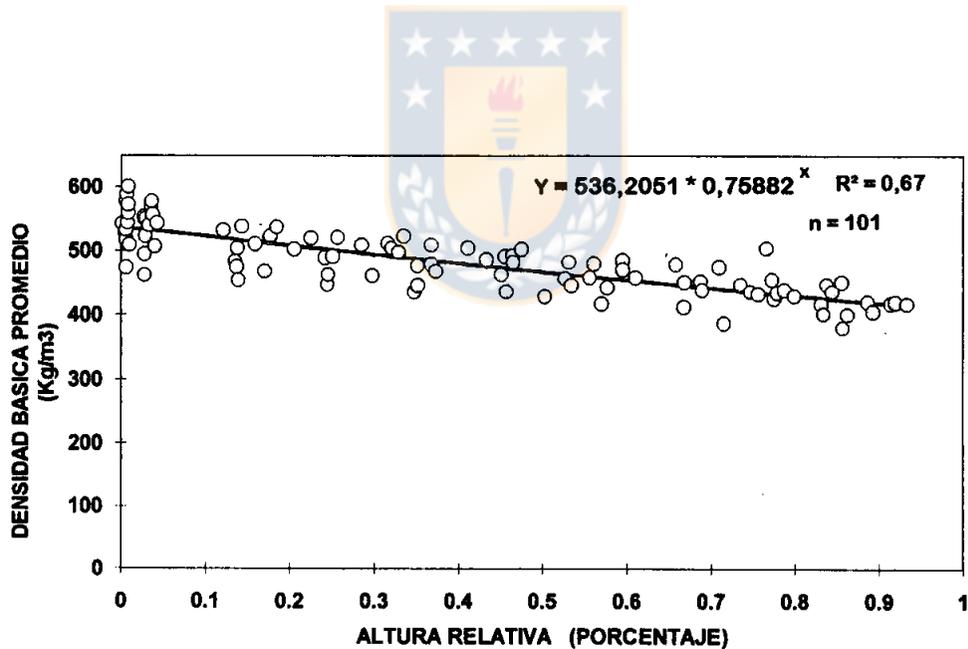
**Figura 18.** Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo promedio de la copa de los árboles, correspondiente a las rodelas C1, C2 y C3.



**Figura 19.** Relación entre densidad básica promedio y espesor de anillo promedio en el árbol completo.

#### 4.5 Relación entre densidad básica y altura relativa.

Existe una relación negativa significativa entre densidad básica y altura relativa (Fig. 20); la altura relativa explica un 67% de la variación en la densidad. La disminución de la densidad básica con la altura es mostrada en el presente estudio en las figuras N°4 y N°5 y consignada por diversos autores (e.g. Cown, 1973; Cown y McConchie, 1980; González, 1987 y Ortiz, 1965).



**Figura 20.** Relación entre densidad básica promedio por rodela y altura relativa de los árboles.

## V. CONCLUSIONES.

- No se encontró evidencia de diferencia significativa de la densidad básica intraincremental de la madera a la altura de tocón entre clases de copa. No obstante, la clase de copa intermedia logra las mayores magnitudes de médula a corteza.
- No se encontró evidencia de efecto significativo de la clase de copa sobre la densidad básica de la madera determinada a distintas alturas del fuste y del árbol completo. Sin embargo, la clase de copa codominante mostró las mayores magnitudes de densidad básica.
- Se determinó en los árboles codominantes una densidad básica promedio por árbol de  $501 \text{ kg/m}^3$ ; en los árboles intermedios y dominantes, de  $494 \text{ kg/m}^3$  y  $478 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente.
- La longitud de fibra crece desde la médula hacia la corteza y aumenta con la altura de fuste hasta la mitad de éste y luego disminuye en las tres clases de copa.
- Los árboles intermedios lograron la mayor magnitud de longitud de fibra por árbol, con  $3,68 \text{ mm}$ , los árboles

codominantes y dominantes con 3,60 mm y 3,54 mm, respectivamente.

-El "coarseness" crece desde la médula a la corteza y aumenta con la altura de fuste.

-Los árboles codominantes mostraron la mayor magnitud de "coarseness", con 29,12 mg/100m, los árboles intermedios y dominantes, con 26,10 mg/100m y 24,49 mg/100m, respectivamente.

-La clase de copa dominante mostró las menores magnitudes de densidad básica, longitud de fibra y "coarseness" por árbol.

-Existe una relación negativa significativa entre densidad básica de la madera y espesor de anillo de crecimiento.

## VI. RESUMEN.

Para analizar el comportamiento de la densidad básica, longitud de fibra y "coarseness" de la madera, se realizó un estudio en un rodal de Pinus radiata D. Don de 52 años de edad, clasificando los árboles por clase de copa: intermedio, codominante y dominante. No se encontró diferencia significativa de la densidad básica intraincremental a la altura de tocón. No obstante, la clase de copa intermedia alcanzó las mayores magnitudes seguida por los árboles codominantes y dominantes en todos los sectores de crecimiento, de médula a corteza. No se registró diferencia significativa de la densidad básica de la madera a distintos niveles de altura y árbol completo entre las clases de copa estudiadas. Sin embargo, los árboles codominantes lograron los mayores valores.

La clase de copa codominante presentó las mayores magnitudes de densidad básica promedio por árbol y "coarseness" de la madera, con  $501 \text{ kg/m}^3$  y  $29,12 \text{ mg/100m}$  respectivamente, mientras que los árboles dominantes lograron los menores valores, con  $478 \text{ kg/m}^3$  y  $24,49 \text{ mg/100m}$ . La clase de copa intermedia presentó la mayor longitud de fibra, con  $3,68 \text{ mm}$ , seguida por los

árboles codominantes y dominantes, con 3,60 mm y 3,54 mm, respectivamente.



**SUMMARY.**

In order to analyze the behaviour of basic density, fiber length and coarseness of wood a study was carried out in a 52 year old **Pinus radiata D. Don** stand, classifying the trees according to crown classes, i. e. intermediate, codominant and dominant. Significant differences of intraincremental basic density at stump level was not found, however the intermediate crown class reached the highest magnitudes followed by codominants and dominant trees, for all growing zones, from pith to bark. It was not found significant differences in the basic density of wood at different height levels and full stem between the studied crown classes. Nevertheless, the codominant trees reached the highest value.

The codominant crown class showed the highest magnitudes of mean basic density and wood coarseness, with 501 kg/m<sup>3</sup> and 29,12 mg/100m respectively, while the dominant trees reached the lowest values, with 478 kg/m<sup>3</sup> and 24,49 mg/100m. The intermediate crown class showed the highest fiber length, with 3,68 mm, followed by codominant and dominant trees, with 3,60 mm and 3,54 mm, respectively.

**VIII. BIBLIOGRAFIA.**

1. **Almeyda, E. y F. Sáez.** 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura, Dirección de Producción Agraria y Pesquera. Santiago. 195 p.
2. **Bamber, R. K. and J. Burley.** 1983. The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureau, London. 84p.
3. **Bluhm, E., R. Melo, N. Tschichow y R. Guzmán.** 1963. Verificación del método de recuento de cruzamientos en la determinación de longitud de fibras de la madera. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, Mérida, Venezuela. Boletín N°13. 12 p.
4. **Burdon, R. and J. Harris.** 1973. Wood density in radiata pine clones on four different sites. New Zealand Journal of Forestry Science 3(3): 268-303.

5. **Carrasco, P. y J. Millán.** 1990. Proyecto Suelos Forestales de la VIII Región Informe Final. Universidad de Concepción y Ministerio de Agricultura, Chillán. 47 pp.
6. **Cown, D. J.** 1973. Effects of several thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science 3(3): 379-389.
7. **Cown, D. J.** 1974. Comparison of effects of two thinning regimes on some wood properties of radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science. 4(3): 540-551.
8. **Cown, D. J.** 1980. Radiata pine: Wood age and wood property concepts. New Zealand Journal of Forestry Science 10(3): 504-407.
9. **Cown, D. J.** 1992a . New Zealand Radiata pine and Douglas Fir. Fri Bulletin 168. Ministry of Forestry. Forest Research Institute. New Zealand.

10. **Cown, D. J.** 1992b. Corewood (Juvenile Wood) in *Pinus Radiata* - should we be concerned ?. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 22(1): 87-95.
11. **Cown, D. J. and R. P Kibblewhite.** 1980. Effects of wood quality variation in New Zealand radiata pine on Kraft paper properties. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10(3): 521-532.
12. **Cown, D. J. and D. L. McConchie.** 1980. Wood porperty variation in an old-crop stand of radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10(3): 508-520.
13. **Cown, D. J. and D. L. McConchie.** 1982. Rotation age and silvicultural effects on wood properties of four stands of *pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 12(1): 71-85.
14. **Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker.** 1982. *Principios de silvicultura*. (2° ed.). McGraw-Hill, México. 492p.

15. **DeBell, J. D., J. C. Tappeiner II and R. L. Krahmher.**  
1993. Wood density of western hemlock: effect of ring width. Canadian Journal of Forest Research 24: 638-641.
16. **Díaz - Vaz, O. y F. Ojeda.** 1980. Densidad intraincremental de **Pseudotsuga menziesii Mirb. Franco.** I: Variaciones en un Análisis Fustal. Bosque 3(2): 86-95.
17. **González, D. G.** 1987. Efecto de la densidad aparente de la madera de **Pinus radiata D. Don.** Tesis Ing. For. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Chillán. 44 p.
18. **González, A. J. y P. J. Molina.** 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de **Pinus radiata D. Don.** Revista Chile Forestal, Documento Técnico N°38, Santiago.

19. **Harris, J. M.** 1971. Physical properties, resin content, and tracheid length of lodgepole pine grown in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 3(1): 91-109.
20. **Kerr, A. J. and D. A. Swann.** 1980. Effects of tree age on kraft pulping of *Pinus radiata* D. Don. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10(3): 577-585.
21. **Kibblewhite, R. P.** 1980. Radiata pine corewood and slabwood, and their interrelations with pulp and handsheet properties. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10(3): 533-550.
22. **Kibblewhite, R. P. and A. D. Bawden.** 1993. Kraft fibre qualities of *pinus radiata*, thinnings, and slabwood, and genetic misfit. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 22(1): 96-110.
23. **Kininmonth, J. A. and L. J. Whitehouse. (Eds.)** 1992. *Properties and Uses of Radiata Pine*. New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute, Rotorua. 238p.

24. **Malan, F. S.** 1989. Wood property variation in six *Pinus radiata* D. Don trees grown in the Jokershoek State Forest. CAB CD. 1990-1991.
25. **McKinnell, F. H.** 1989. Wood density in *Pinus radiata* D. Don. Australian Forestry 52(3): 184.
26. **Nicholls, J. W. and H. E. Dadswell.** 1962. Tracheid length in *Pinus radiata* D. Don. Division of products, C.S.I.R.O. Australia. Paper 24
27. **Ortiz, M. R.** 1965. Variaciones de largo de traqueidas y peso específico en pino insigne. Informe Técnico N°21, INFOR. Santiago.
28. **Sutton, W. R. and J. M. Harris.** 1974. Effect of heavy thinning on wood density in radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science. 4(1):112-115.
29. **Siemon, G. R.** 1989. Effects of thinning on crown, stem form and wood density of radiata pine. Australian Forestry 52(3): 183.

30. **Tappi Test Methods.** 1989. Fibrous Material and Pulp Testing T1 - T270 Paper and Paperboard T400 - T543. TAPPI, Technology Park / Atlanta.
31. **Uprichard, J. M.** 1980. Effects of wood age on papermaking properties of Radiata pine kraft pulps. New Zealand Journal of Forestry Science 19(3): 558-576.
32. **Wellwood, R. W.** 1960. Specific gravity and tracheid length variations in second-growth western hemlock. Journal of Forestry 58(5): 361-368.
33. **Zobel, B. J., G. Van Wyk and P. Stahl.** 1988. Growing exotic forests. John Willey and Sons, New York. 508p.