

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



DETERMINACION DEL PATRON DE VARIACION DE LA MADERA TARDIA
FORMADA EN FUSTES DE *Pinus radiata* D. Don, EN UN RODAL
DE 18 AÑOS DE EDAD



MARIO ANTONIO PINTO QUINTANA

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

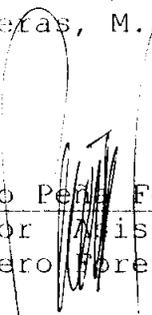
1997

DETERMINACION DEL PATRON DE VARIACION DE LA MADERA TARDIA
FORMADA EN FUSTES DE *Pinus radiata* D. Don, EN UN RODAL
DE 18 AÑOS DE EDAD.

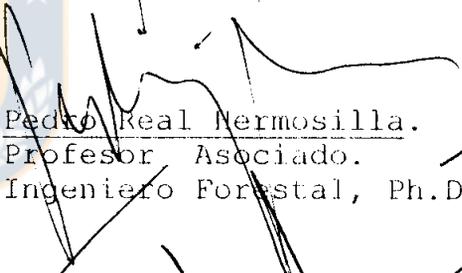
Profesor Asesor


Luis Valenzuela Hurtado.
Profesor Asociado.
Ingeniero de Ejecución
en Maderas, M.Sc. Ph.D.

Profesor Asesor


Eduardo Peña Fernández.
Profesor Asistente.
Ingeniero Forestal, M.Sc.

Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente


Pedro Real Hermosilla.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal, Ph.D.

Decano Facultad
Ciencias Forestales


Jaime Garcia Sandoval.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Sr. Luis Valenzuela Hurtado: 95 puntos
Sr. Eduardo Peña Fernández : 90 puntos

DEDICATORIA

Soy un agradecido de la vida, un hombre dichoso y feliz, por tener una gran familia que me lo ha dado todo.

Es por eso; que les dedico este trabajo, se los dedico de todo corazón, en especial a mis padres, mi mayor riqueza, los mejores del mundo, los que han estado siempre conmigo. Alentándome cuando estuve desanimado, poniendo alegría cuando estuve triste, apoyándome cuando más lo necesité.

Gracias padres, esto es de ustedes, ya que sin sus sacrificios lo que un día fue un sueño, hoy no sería realidad.



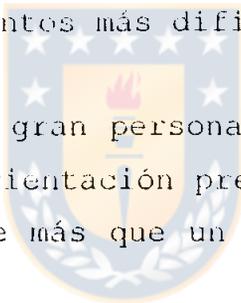
AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus más sinceros agradecimientos, a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible este trabajo, especialmente a:

Rodrigo Pezo, un gran compañero, quien me instó a tomar el tema y estuvo siempre presente cuando necesité de su ayuda.

Juan Moreno, un gran compañero y excelente amigo, quien me facilitó desinteresadamente su computador y estuvo siempre presto a ayudarme y a brindarme su apoyo incondicional, especialmente en los momentos más difíciles.

Don **Luis Valenzuela**, una gran persona, quien siempre tuvo la paciencia necesaria, y orientación precisa cuando necesite de su ayuda. Gracias por que más que un alumno me hizo sentirme como su amigo.



INDICE DE MATERIAS

| CAPITULO | | PAGINA |
|----------|---|--------|
| I | INTRODUCCION..... | 1 |
| II | OBJETIVOS..... | 8 |
| | 2.1 Objetivo general..... | 8 |
| | 2.2 Objetivos específicos..... | 8 |
| III | MATERIALES Y METODOS..... | 9 |
| | 3.1 Descripción del área de estudio..... | 9 |
| | 3.2 Descripción del rodal..... | 9 |
| | 3.3 Materiales..... | 10 |
| | 3.4 Metodología..... | 11 |
| | 3.4.1 Descripción del método para determinar el porcentaje de madera tardía..... | 13 |
| | 3.4.2 Descripción del método de medición de la densidad básica..... | 15 |
| IV | RESULTADOS Y DISCUSION..... | 17 |
| | 4.1 Patrón de variación radial..... | 17 |
| | 4.2 Patrón de variación en altura..... | 20 |
| | 4.3 Patrón de variación radial y en altura.... | 23 |
| | 4.4 Simulación de la madera tardía (%)..... | 27 |
| | 4.5 Simulación de la densidad básica (g/cm ³) .. | 29 |
| | 4.6 Relaciones..... | 32 |
| | 4.6.1 Ancho del anillo de crecimiento..... | 33 |
| | 4.6.2 Distancia del anillo desde la médula.... | 34 |
| | 4.6.3 Densidad básica..... | 36 |

| | | |
|------|-------------------|----|
| V | CONCLUSIONES..... | 38 |
| VI | RESUMEN..... | 39 |
| | SUMMARY..... | 40 |
| VII | BIBLIOGRAFIA..... | 41 |
| VIII | APENDICE..... | 47 |
| IX | ANEXO..... | 56 |



INDICE DE TABLAS

| TABLA N° | PAGINA |
|--|--------|
| <u>En el texto</u> | |
| 1 Criterios de selección de las funciones ajustadas..... | 36 |
| <u>En el Apéndice</u> | |
| 1A Características de los árboles seleccionados en el estudio..... | 48 |
| 2A Resumen de análisis de varianza para las viguetas provenientes de los árboles intensivos (radios, norte y sur)..... | 49 |
| 3A Resumen de análisis de varianza para las viguetas provenientes de los árboles extensivos (radios, este y oeste)..... | 49 |
| 4A Resumen de análisis de varianza para las viguetas provenientes de árboles intensivos y árboles extensivos..... | 49 |
| 5A Valores promedios de variación radial para la madera tardía (%) producida..... | 50 |
| 6A Valores promedios de variación en altura para la madera tardía (%)..... | 50 |
| 7A Valores promedios para la madera tardía (%) a diferentes porcentajes de altura en el fuste..... | 50 |
| 8A Criterios de selección de las funciones ajustadas a diferente altura en el fuste para madera tardía (%)..... | 51 |

| | | |
|-----|--|----|
| 9A | Funciones ajustadas para los parámetros a, b, y c provenientes de las ecuaciones encontradas para madera tardía (%)..... | 52 |
| 10A | Criterios de selección de las funciones ajustadas a diferente altura en el fuste para densidad básica(g/cm ³) | 53 |
| 11A | Funciones ajustadas para los parámetros a, b, y c provenientes de las ecuaciones encontradas para densidad básica(g/cm ³)..... | 54 |
| 12A | Valores promedios para el ancho del anillo de crecimiento (mm) a diferentes porcentajes de altura en el fuste..... | 54 |
| 13A | Valores promedios para el ancho del anillo de crecimiento acumulado (mm) a diferentes porcentajes de altura en el fuste..... | 55 |
| 14A | Valores promedios de densidad básica (g/cm ³) a diferentes porcentajes de altura en el fuste..... | 55 |



INDICE DE FIGURAS

| FIGURA N° | PAGINA |
|--------------------|---|
| <u>En el texto</u> | |
| 1 | Imágenes del rodal de <i>Pinus radiata</i> D. Don, en estudio.....10 |
| 2 | Viguetas del rodal en estudio.....12 |
| 3 | Breuil (izquierda) y planímetro (derecha), instrumentos empleados en la determinación de densidad básica (g/cm ³) y madera tardía (%). 16 |
| 4 | Patrón de variación radial para los valores promedios de madera tardía (%).19 |
| 5 | Patrón de variación en altura para los valores absolutos promedios de madera tardía (%).22 |
| 6 | Patrón de variación en altura para los valores promedios de madera tardía (%).23 |
| 7 | Patrón de variación radial y en altura de la madera tardía (%) en relación al anillo de crecimiento.25 |
| 8 | Patrón de variación radial y en altura de la madera tardía (%) en relación a la distancia desde la médula (mm).26 |
| 9 | Simulación del comportamiento y variación de la madera tardía (%), por medio del modelo matemático desarrollado.29 |
| 10 | Patrón de variación de la densidad básica (g/cm ³), con la edad cambial y altura en el fuste.31 |

11. Simulación del comportamiento y variación de la densidad básica (g/cm^3) por medio del modelo matemático desarrollado.....32
12. Relación entre los valores promedios de la variable madera tardía (%) con el ancho del anillo de crecimiento (mm).....34
13. Relación entre los valores promedios de la variable madera tardía (%) con la distancia desde la médula (mm).....35
14. Relación entre los valores promedios de la variable densidad básica (g/cm^3) con la madera tardía (%).....37



I INTRODUCCION

Al examinar la sección transversal de una pieza de madera podemos encontrar como regla que cada anillo de crecimiento está formado por dos partes bien definidas. Aquella cercana a la médula, la cual se originó en primavera, y en forma alternada la desarrollada en verano (Wangaard, 1950).

La madera de primavera, conocida también como madera temprana es aquella que se desarrolla durante la primera parte de la estación de crecimiento. Compuesta de células grandes, de pared delgada, de un color generalmente más claro que la madera de verano (Wangaard, 1950; Foulger, 1972; Infor, 1991). Y proporcionalmente, una menor cantidad de pared celular por unidad de volumen (Esau, 1959).

La madera de verano o tardía, en cambio, producida después del crecimiento inicial y definida por Mork (1928); citado por Kininmonth y Whitehouse (1991), como aquella parte del anillo anual en la cual el espesor de la doble pared radial de las traqueidas es igual o mayor que el diámetro del lumen. Esta madera está formada por células más pequeñas y densas, con paredes más gruesas y de un color bien definido y oscuro dentro del anillo anual (Wangaard, 1950; Foulger, 1972; Haygreen y Bowyer, 1982; Infor, 1991; Tsoumis, 1991:3, 115).

El desarrollo que la madera tardía alcance en el anillo anual, no siempre es el mismo, este varía en ancho de un árbol a otro y a diferentes alturas del fuste en el mismo

árbol. Dicha variación también se ve reflejada en la sección transversal del fuste ya que la cantidad de madera tardía formada y expresada como un porcentaje del anillo anual aumenta desde la médula hacia el cambium (Kramer y Kozlowski, 1960).

Esta variación se produce porque existe un control en la formación de la madera tardía. Dicho control se debe a la intervención y balance de sustancias reguladoras del crecimiento conocidas como auxinas (Balatinecz y Kennedy, 1968; Spurr y Barnes, 1980; Haygreen y Bowyer, 1982). Modificando las características anatómicas de las células tanto en espesor como en diámetro.

Para Zimmermann (1964) tanto el crecimiento diametral, como el grosor de pared en las traqueidas no sólo dependen de una abundante síntesis de auxinas, si no que también de un buen abastecimiento de carbohidratos, en la zona de crecimiento.

Cuando el crecimiento terminal cesa, el abastecimiento de auxinas decrece (Oppenheimer, 1945; Megli, 1955; citados por Larson, 1960; Larson, 1962; 1963; citado por Zimmermann, 1964; Balatinecz y Kennedy, 1968; Zimmermann y Brown, 1980), y el cambium produce traqueidas radialmente estrechas dando como resultado la formación de madera tardía (Bamber y Burley, 1983; Larson, 1964b; 1969; citados por Larocque y Marshall, 1995).

Por su parte, el engrosamiento de las paredes de las traqueidas formadas en la madera tardía se debe a un aprovechamiento de carbohidratos (Larson, 1964; citado por Bamber y Burley, 1983; Larson, 1964b; 1969; citados por Larocque y Marshall, 1995). Y a la acumulación de inhibidores de crecimiento (Wodzicki, 1964; 1965, Balatinecz y Kennedy, 1967; citados por Zimmermann y Brown, 1980). provocando una disminución en los niveles de auxinas tanto en el interior del floema como en la zona cambial (Zimmermann, 1964; Zimmermann y Brown, 1980; Haygreen y Bowyer, 1982).

La formación de madera tardía está dada por una serie de factores fisiológicos, ambientales e intervenciones silvícolas. Siendo la edad del rodal, la temperatura y la relación de humedad en el suelo, los factores que mayor efecto tienen en dicha formación.

La cantidad de madera formada en el anillo está fuertemente relacionada con la edad (Larson, 1973; citado por Haygreen y Bowyer, 1982; Bamber y Burley, 1983). Esta, en ***Pinus radiata*** D. Don incrementa de un 5% a un 30% desde los primeros anillos de crecimiento hasta el vigésimo anillo. Después del vigésimo anillo, la proporción de madera tardía llega a ser más o menos constante, sin embargo, no siempre es distinguible en los primeros anillos, ya que la forma característica de sus células es usualmente desarrollada a partir del tercer o cuarto anillo (Bamber y Burley, 1983).

En el caso de la temperatura y el fotoperíodo, ambos factores también muestran una clara relación y un considerable efecto en la formación y diferenciación de la madera tardía en el anillo.

La formación de madera tardía puede ser reforzada gracias a la ocurrencia de temperaturas bajas y acortamiento del fotoperíodo (Zimmermann y Brown, 1971; citados por Daniel et al., 1982). Favoreciéndose la producción de células de diámetro pequeño (Zimmermann y Brown, 1980; Haygreen y Bowyer, 1982).

Sin duda el factor ambiental que más afecta el crecimiento del árbol es la escasez de humedad, provocando un considerable efecto sobre el tamaño del anillo anual, y la proporción de madera tardía (Larson, 1960; Zimmermann y Brown, 1980; Spurr y Barnes, 1982; citados por Baldini, 1994).

Más del 90% de la variación en los anillos anuales de las coníferas ha sido atribuido al déficit de agua en los climas semiáridos (Douglas, 1919; Fritts et al., 1965; citados por Spurr y Barnes, 1980). Y más del 80% en los climas templados húmedos (Zahner and Donnelly, 1967; citados por Spurr y Barnes, 1980).

El stress hídrico deja su registro en los anillos anuales ya que provee de condiciones menos favorables para el crecimiento, que a menudo definen la formación de madera tardía a comienzo de temporada (Zahner, 1962; citado por

Zimmermann, 1964). Dando como resultado una menor síntesis de auxinas (Haygreen y Bowyer, 1982), y una menor traslocación de carbohidratos hacia el cambium, lo que se traduce en una reducción de los procesos de división celular (Zimmermann, 1964).

Esto evidencia una clara relación entre el déficit de humedad y la proporción de madera tardía formada, lo cual es validado en investigaciones hechas por Larson (1960); Gregg (1986); citado por Szymanski y Tauer (1991) quienes señalan que existe una directa relación de humedad como mecanismo involucrado en la iniciación de la formación de madera tardía.

Pero no sólo un déficit de humedad puede afectar la formación de madera tardía en el anillo, también puede ser afectado por un abundante abastecimiento de agua en el suelo.

Estudios hechos por Van der Slooten et al. (1976); citados por Zobel et al. (1987), en la parte sur de Brasil, señalan que la presencia de abundante humedad durante el último período de la temporada de crecimiento daba como resultado una continua y alta producción de madera tardía en ***Pinus elliotii***.

El raleo es otro factor que también afecta el porcentaje de madera tardía (Barbour et. al, 1994), aunque el nivel de los efectos depende del grado de liberación y edad del mismo (Larson, 1973; citado por Haygreen y Bowyer, 1982).

Una liberación periódica a través de una serie de raleos ordenados, produce un efecto tal, que el espesor de los anillos de crecimiento disminuyen muy lentamente, pero en forma constante desde la médula hacia la periferia del fuste del árbol (Hawley y Smith, 1972).

Sin embargo, el raleo efectuado a rodales muy densos y/o estancados produce un efecto inmediato y sustancial incremento en el crecimiento de los posteriores anillos, acompañado por un marcado decrecimiento en la proporción de madera tardía (Larson, 1973; citado por Haygreen y Bowyer, 1982).

Como una consecuencia de sus diferencias anatómicas, la madera tardía presenta diferentes propiedades. Siendo importante de destacar la relación que existe con el rendimiento y calidad de la pulpa, así como también, en variadas propiedades de los productos del papel (Balatinecz y Kennedy, 1968). Ya que la proporción de madera tardía al estar influenciando directamente la densidad de la madera, esta de alguna forma estaría afectando lo antes señalado.

Otra propiedad muy importante en la madera es el grado de dureza que esta alcance en el leño. Esta dureza está asociada a diferencias de densidad en el anillo, la que a su vez está asociada a la relación pared celular-lumen celular, existente en el anillo (Díaz-Vaz, 1981), y a la proporción que la madera tardía represente en el incremento anual (Balatinecz y Kennedy, 1968; Díaz-Vaz y Ojeda, 1980), ya que al aumentar el

porcentaje de madera tardía, la densidad de la madera aumenta (Daniel et al., 1982).

La densidad de la madera, en especial la densidad básica, definida por Pérez (1983), como aquella que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad mayor o igual que 30% (Estado verde). Es sin duda uno de los criterios más importante para determinar la calidad de la madera puesto que se relaciona directamente con la resistencia de esta (Daniel et al., 1982).

Por lo tanto, resulta importante poder conocer el comportamiento que adquiere la madera tardía en el fuste, ya que en cierta forma estaremos estimando las características de la madera producida en el rodal.

De esta manera, el presente estudio busca medir el porcentaje de madera tardía y su relación con propiedades físicas asociadas, en un rodal de ***Pinus radiata*** D. Don de 18 años de edad.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Medir el porcentaje de madera tardía en fustes de árboles en un rodal de *Pinus radiata* D. Don de 18 años de edad.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Determinar el patrón de variación radial, y en altura del porcentaje de madera tardía producida en el fuste.

2.2.2 Relacionar el porcentaje de madera tardía con el ancho del anillo de crecimiento, la distancia desde la médula y la densidad básica de la madera.

III MATERIALES Y METODO

3.1 Descripción del área de estudio

La información de este estudio fue obtenida a través de rodelaas proporcionadas, desde el Fundo Los Alpes, propiedad del Sr. Julio Hermosilla, ubicado a 20 km al noroeste de la Comuna de Santa Bárbara, VIII región.

La temperatura media anual en el área de estudio es de 13,8 °C, con una media máxima de 29 °C, siendo la media en enero de 20,6 °C y en julio de 8,3 °C. La precipitación media anual es de 1285 mm con 4 meses secos (Almeyda y Sáez, 1958).

El rodal en estudio crece en un suelo derivado de cenizas volcánicas, con topografía de lomajes suaves. Presenta suelos medianamente profundos a profundos y de buen drenaje. La topografía del lugar es de lomajes con pendientes uniformes del 12 % (FIA, 1990).

3.2 Descripción del rodal

El rodal fue establecido en 1978, teniendo a la fecha en que fueron recolectadas las rodelaas, la edad de 18 años. Está constituido por *Pinus radiata* D. Don sin la presencia de sotobosque.

El rodal fue intervenido silvícolamente mediante podas y raleos. Las podas fueron realizadas a los 5, 7, y 11 años de

edad, a 3, 6, y 12 m de altura respectivamente. Y los raleos se efectuaron a los 9, 12, y 18 años de edad.

En la actualidad, el rodal posee una densidad promedio de 236 arb/ha y un área basal de 31,04 m²/ha (Fig. 1).

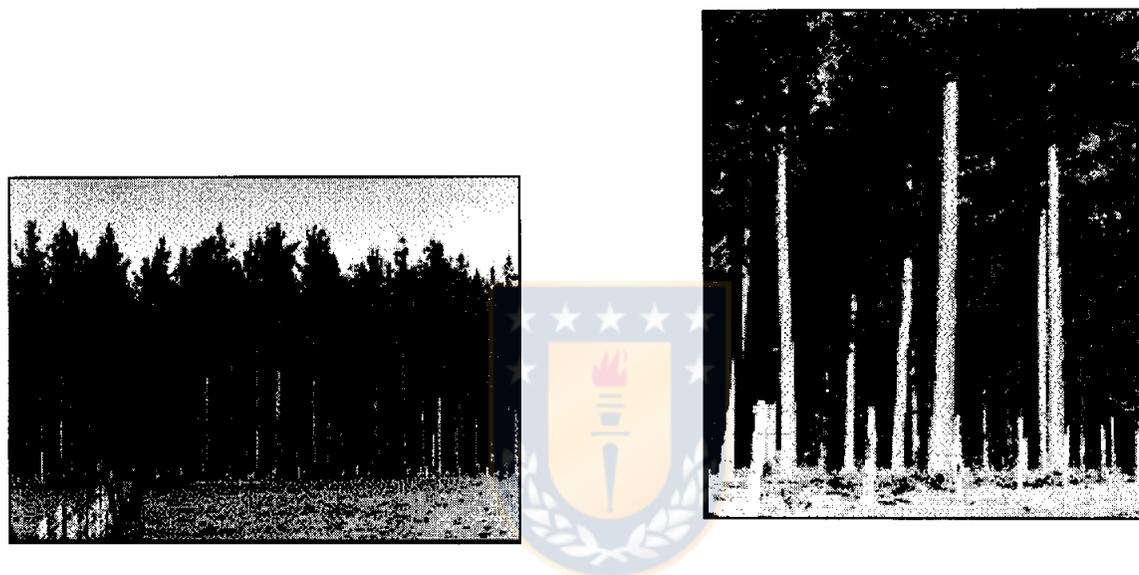


Figura 1 Imágenes del rodal de *Pinus radiata* D. Don en estudio.

3.3 Materiales

En la obtención de información se utilizó el siguiente material:

- a.** Un planímetro para la medición de áreas, en las viguetas.

- b. Instrumento de Breuil para medir la densidad básica de las viguetas.
- c. Sierra huincha. Y sierra circular para la obtención de las viguetas.
- d. Otros materiales como cepillo, bolsas plásticas, elementos para marcar

3.4 Metodología

Un total de 51 rodela separadas en 102 viguetas fueron analizadas para determinar el patrón de variación de la madera tardía formada en fustes de *Pinus radiata* D. Don, en un rodal de 18 años de edad. (Ver Apéndice 1A y Figura 2).

Estas fueron obtenidas de otros trabajos efectuados simultáneamente en el rodal y proporcionadas para la realización del presente estudio.

Las rodela provenian de seis árboles correspondientes a distintas clases diamétricas dentro del rodal (Anexo 1). Los árboles recibieron diferente denominación según la forma en que fueran trozados.

Tres de ellos se denominaron extensivos ya que las rodela obtenidas de estos se tomaron cada 3,4 m en el fuste. Los tres restantes se denominaron intensivos ya que las rodela obtenidas fueron extraídas en zonas cercanas a los verticilos.

Cada rodela fue dividida en dos viguetas tomando como referencia los puntos cardinales de procedencia, siendo para el caso de los extensivos los radios este y oeste, y para el caso de los intensivos los radios norte y sur.

Luego en laboratorio se trazó una línea desde la médula hacia la corteza, que pasó por el centro de cada vigueta facilitando así la medición del ancho de cada anillo de crecimiento. Posteriormente, previa identificación de los anillos, se procedió a medir la densidad básica de cada uno.

Cada vigueta fue clasificada y ordenada según la posición en el fuste y el radio al que correspondía, registrándose para el estudio un total de 58 viguetas para el caso de los radios norte - sur, y 44 viguetas los radios este - oeste.

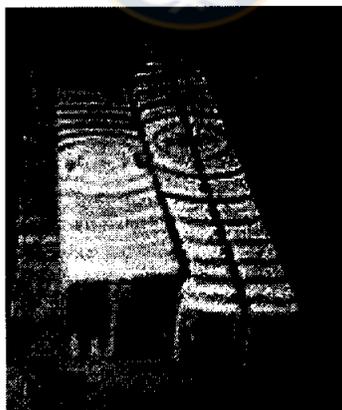


Figura 2. Viguetas del rodal en estudio..

3.4.1 Descripción del método para determinar el porcentaje de madera tardía. La determinación del porcentaje de madera tardía, se basó en la diferencia de los tejidos de primavera y verano, siendo el segundo de un color más oscuro. Al respecto Cown (1992), señala que la distinción visual es posible de realizarse y es tan buena como cualquier otro método.

Para favorecer aún más la distinción de estos tejidos, se procedió a cepillar cada una de las viguetas (Bamber y Burley, 1983).

Las viguetas cepilladas, fueron fotocopiadas cuidando que cada una llevara consigo la identificación del árbol y radio al cual correspondían.

Una vez fotocopiadas, en cada vigueta se procedió a medir un valor por anillo, para esto se utilizó un planímetro. El planímetro se instaló en una superficie lisa para evitar errores en la medición. (Figura 3)

La medición se realizó llevando la mira de la lupa del planímetro por toda la periferia de la superficie a medir. La lectura se registró a través de un contador que fue leyendo el movimiento de la mira de la lupa cuando esta avanzó a través del perímetro del anillo. Cada vez que se hizo una nueva medición, el instrumento fue calibrado llevando el contador a cero.

Para obtener datos lo más representativos posibles del valor real, en cada anillo (madera temprana + madera tardía), se hicieron 6 mediciones, 3 mediciones a la superficie total, y 3 en la zona de madera temprana. Esta última se identificó por su color más claro (Wangaard, 1950), y generalmente de mayor proporción dentro del anillo de crecimiento.

Las 3 mediciones fueron promediadas, tanto para la superficie total como para la proporción de madera temprana.

Cada valor promedio fue llevado luego a porcentaje, considerándose el valor del anillo como 100%. El porcentaje de madera temprana se obtuvo por simple relación, y el cálculo del porcentaje de madera tardía fue obtenido por la diferencia de los anteriores.

Este procedimiento se realizó en cada una de las viguetas y anillos desde la médula a la periferia, tanto para los árboles intensivos, como para los extensivos.

Cabe señalar que el error por deformación, generado al momento de ser fotocopiadas las viguetas fue despreciable y no considerado puesto que al momento de realizarse las mediciones los valores entregados correspondían a la lectura inicial del planímetro y no al área del anillo, además el error siempre es el mismo en todos los anillos, siendo eliminado al momento en que las lecturas son llevadas a porcentajes.

3.4.2 Descripción del método de medición de la densidad básica. Mediante el instrumento de Breuil se determinó el volumen húmedo de las viguetas.

El instrumento consiste en un vaso cilíndrico de acero con una tapa rosca, en la mitad del cual está fijo un tubo capilar de vidrio. Perpendicular al vaso hay un cilindro montado horizontalmente en el cual un pistón puede moverse hacia atrás y adelante mediante un tornillo micrométrico. (Figura 3).

La muestra de madera correspondiente a un anillo de crecimiento se introdujo en el vaso del instrumento y se presionó girando el pistón hasta que el mercurio en el tubo capilar llegara a igualar el anillo de ajuste. A continuación, se leyó la posición del tornillo micrométrico, para luego retirar la muestra del instrumento.

Por último, teniendo apretada la tapa rosca, nuevamente el tornillo micrométrico es girado hasta que el mercurio alcance el anillo de ajuste una vez más.

Una segunda medida debe ser tomada y el volumen es obtenido de la diferencia entre la primera y segunda medición. Posteriormente, las muestras fueron secadas por 48 horas a 100 °C, o hasta alcanzar peso constante (Tsoumis, 1991) para luego proceder a pesarlas.

De esta forma, la densidad básica fue calculada a través de la relación peso seco - volumen húmedo de la muestra.

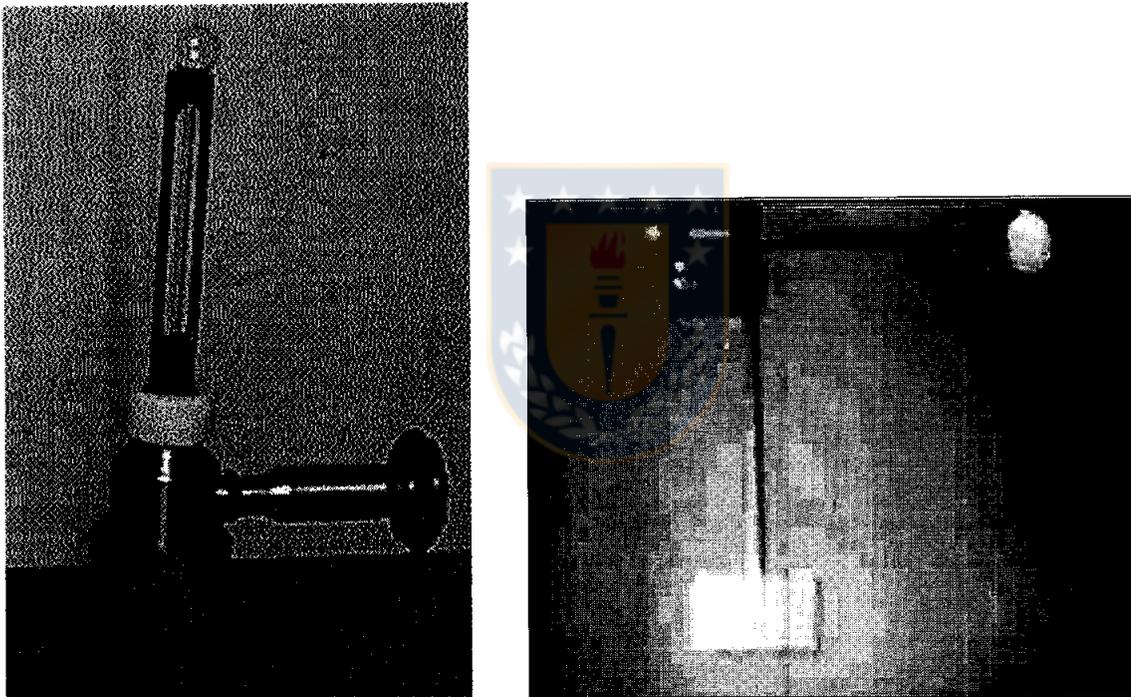


Figura 3. Breuil (izquierda) y planímetro (derecha), instrumentos empleados en la determinación de densidad básica (g/cm^3) y madera tardía (%)

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Patrón de variación radial

Los porcentajes promedios de madera tardía obtenidos por anillo para cada uno de los radios en estudio fueron comparados estadísticamente para determinar si existía diferencia significativa entre ellos.

Los resultados de los análisis de varianza mostraron que ni los radios norte y sur, provenientes de los árboles intensivos, como los radios este y oeste provenientes de los árboles extensivos presentaban diferencia significativa (Ver Apéndice 2A y 3A). Esto tampoco ocurrió cuando los radios fueron agrupados y comparados como intensivos y extensivos (Ver Apéndice 4A).

De esta forma, se tiene que el patrón de variación radial para la proporción de madera tardía promedio, por anillo de crecimiento es el que se presenta en la Figura 4.

La proporción de madera tardía varió desde la médula hacia la corteza mostrando una clara tendencia a aumentar con la edad cambial en el árbol. Esto concuerda con los resultados obtenidos por otros investigadores; en *Pinus radiata* D. Don tales como Larson (1973); citado por Haygreen y Bowyer (1982); Bamber y Burley (1983), Tsoumis (1991): 73, y Kininmonth (1991).

Los valores promedios mínimos y máximos fluctuaron entre un 16,13 % y un 39,07 %, mientras que el promedio general de madera tardía alcanzado, fue de un 29,05 %.

A diferente edad cambial la madera tardía presentó la misma tendencia, excepto algunos quiebres que se produjeron en forma intermitente a lo largo del patrón de variación horizontal. A partir del 2° anillo y hasta el 9° anillo los porcentajes de madera tardía aumentaron considerablemente de un 16,13 % a un 30,37 %. Un incremento menos fuerte se observó desde el 11° anillo al 18° donde el porcentaje de madera tardía aumentó de un 31,45 % a un 39,07 % (Ver Apéndice 5A).

Tal como es señalado por Bamber and Burley (1983), para *Pinus radiata* D. Don, se produce un quiebre importante en los primeros anillos de crecimiento. En este caso entre el anillo n°1 y n° 2, lo cual pudo ser producto de un comportamiento fisiológico provocado por concentraciones de auxinas y fotosintatos cerca de la médula, o bien, producto de una variación en el tamaño de las células, ya que estas son muy cortas en el primer anillo e incrementan rápidamente en el segundo, para luego alcanzar un largo máximo en los posteriores anillos (Kininmonth, 1991; Tsoumis, 1991: 68) lo que estaría enmascarando las tendencias y afectando los resultados.

Los quiebres producidos en los posteriores anillos posiblemente se debieron a la aplicación de un esquema de tratamientos silvícolas al que fue sometido el rodal en estudio o también, producto de las condiciones del sitio, en

el rodal (Larson, 1973; citado por Haygreen y Bowyer , 1982; Tsoumis,1991: 75; Barbour,1994).

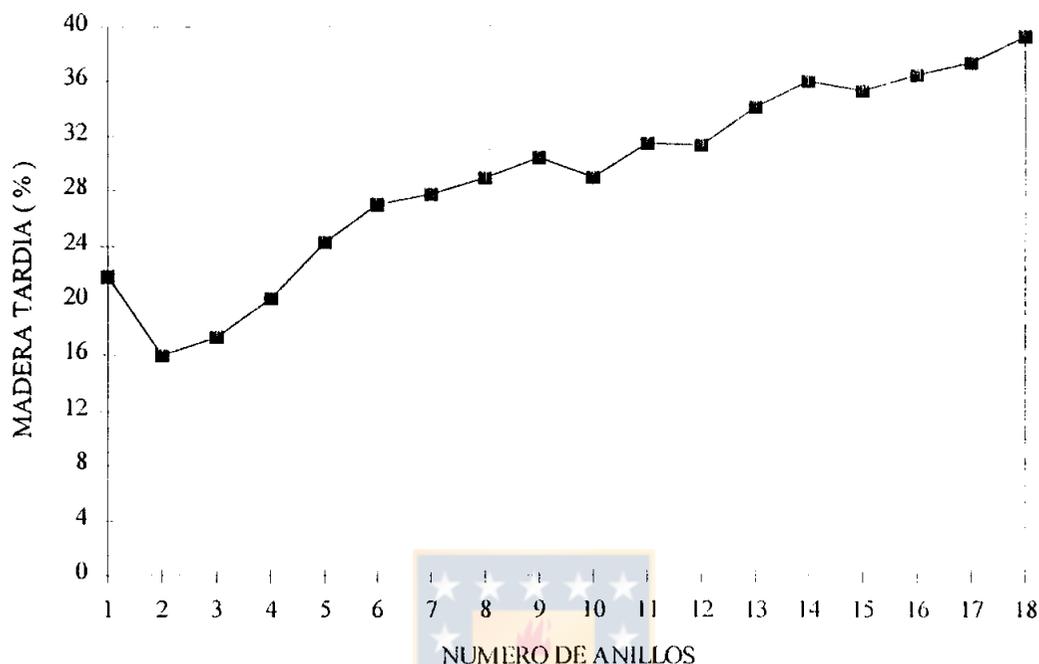


Figura 4. Patrón de variación radial para los valores promedios de madera tardía (%) por anillo de crecimiento

La proporción de madera tardía también varió con el tipo de madera producida. En la madera juvenil, 10 primeros anillos medidos desde la médula (Tsoumis, 1991: 71; Kininmonth, 1991; Cown, 1992b) se registraron valores promedios de madera tardía que no superaron el 24,09%, lo cual fue claramente inferior a lo exhibido por la madera madura donde la cantidad promedio de madera tardía producida en los anillos fue alrededor de un 34,91% (Ver Apéndice 5A).

Esta diferencia se establece principalmente porque el mayor volumen de madera juvenil se produce en aquellos anillos que están creciendo cerca de la médula caracterizados por un mayor ancho, una mayor proporción de madera temprana y un menor porcentaje de madera tardía (Tsoumis, 1991: 70, 71).

4.2 Patrón de variación en altura

La Figura 5 y Figura 6 muestran los valores promedios para la proporción de madera tardía formada, a diferentes porcentajes de altura en el fuste.

Tanto los valores promedios por cada vigueta, como los valores absolutos promedios mostraron la misma tendencia, siguiendo de esta forma el mismo patrón de variación radial descrito anteriormente.

El porcentaje de madera tardía sigue presentando un quiebre en los primeros anillos medidos desde la médula a la corteza, luego de lo cual decrece en severidad con la edad cambial y la altura en el fuste.

En el caso de los valores promedios por cada vigueta se advirtió una notoria disminución del porcentaje de madera tardía, los valores registrados alcanzaron un máximo, bajo el 1,5 m de altura en el fuste, y un valor mínimo al acercarse a los 26 m. También se pudo observar que sólo bajo los 8 m de altura el valor promedio de madera tardía fue superior al 25% llegando incluso a un 30%, mientras que en los 19 m restantes se observaron valores que fluctuaron entre los 19% y 24%.

La disminución en los porcentajes se presentó casi en forma proporcional a la altura dejando de manifiesto el rol que cumple, pero cabe señalar que esta disminución no sólo pudo ser producto de la altura en sí, como tampoco de la variación horizontal (Tsoumis, 1991: 73), caracterizada por la edad cambial de los anillos, también es posible que sea producto de otros factores que están asociados a la altura y que estarían afectando la cantidad de madera tardía formada, como lo son, por una parte la madera juvenil producida y por otra, las características de la copa del árbol.

Ambos factores están relacionados entre si, incluso se describe a la madera juvenil como aquella que se forma bajo la influencia de la copa (Daniel et al., 1982; Tsoumis, 1991: 70).

La madera que se forma a mayor altura está directamente relacionada con la madera juvenil por lo que los anillos anuales de crecimiento mostraron características juveniles en la porción superior del fuste y características maduras en la porción inferior (Daniel et al., 1982) lo que permitió deducir que la proporción de madera tardía se encontraba variando en sentido basipétalo, aumentando desde el ápice hacia la base del árbol tal como lo señaló Tsoumis (1991) y Joun (1952); citado por Kramer y Kozlowski (1960), este último trabajando en ***Pinus taeda***.

Pero la disminución de la madera tardía en el fuste también es posible que se deba, al efecto copa, ya que, es aquí donde comienzan a producirse los procesos fisiológicos que derivan en un desarrollo y aumento de sustancias de crecimiento endógenas que controlan los mecanismos de formación de los anillos de crecimiento, trasladando los efectos de factores ambientales físicos en mecanismos bioquímicos de control (Balatinez y Kennedy, 1967; citados por Zimmermann y Brown, 1980), favoreciendo una mayor producción de madera temprana, retardando y reduciendo así la formación de madera tardía en el anillo.

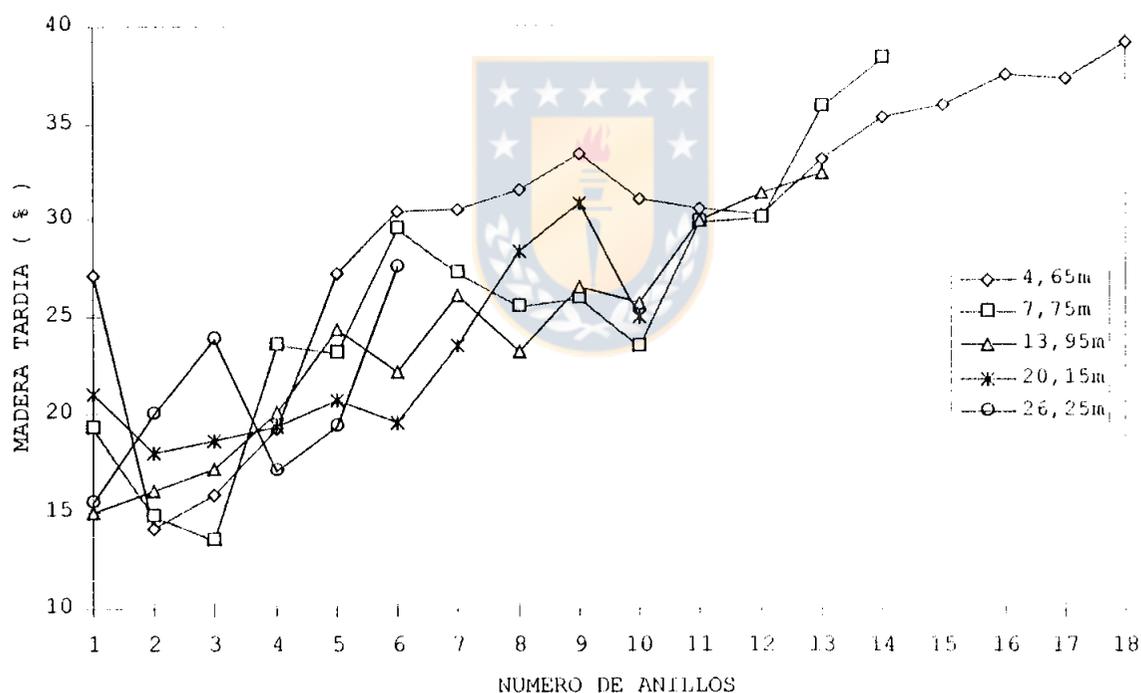


Figura 5. Patrón de variación en altura para los valores absolutos promedios de madera tardía (%).

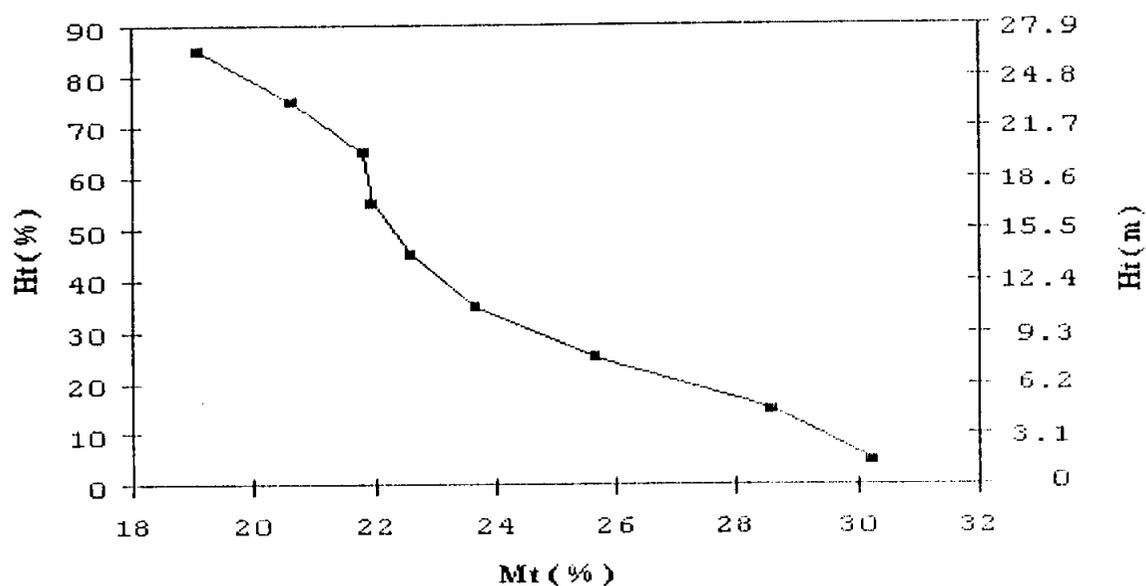


Figura 6. Patrón de variación en altura para los valores promedios de madera tardía (%).

Legenda: Mt: Madera tardía (%)
Ht: Altura en el fuste (%, m)

4.3 Patrón de variación radial y en altura

El patrón de variación radial con la altura en el fuste que se obtuvo en el estudio se muestra en la Figura 7 y Figura 8.

El patrón que alcanzó la proporción de madera tardía se presentó variable, y la tendencia fue siempre ascendente desde la médula hacia la corteza, fundamentalmente por efecto de la edad y de una disminución en el ancho de los anillos (Tsoumis, 1991: 73). Y menos irregular a medida que se

alejaba de la base del árbol y comenzaba a acercarse al ápice, esto pudo estar dado esencialmente por la cercanía de la copa y por una mayor presencia de madera juvenil en el total de anillos formados.

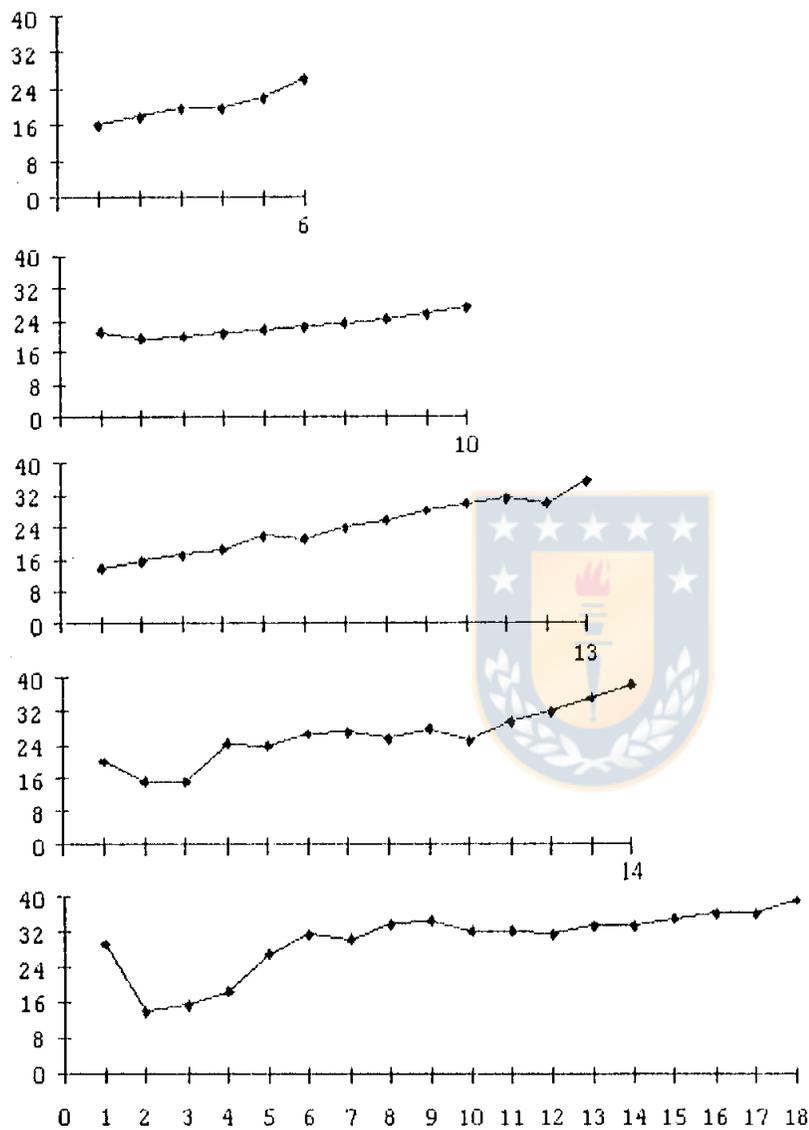
En los valores de madera tardía observados, junto con un aumento horizontal se presentó una reducción vertical donde fue posible reconocer el "efecto copa" especialmente cuando fueron analizadas las variaciones de madera tardía de los anillos más cercanos a la corteza, a diferente altura.

Esto quedó demostrado al ser comparada la madera tardía formada a una altura relativa de un 81% con aquella formada a igual número de anillos y a una altura relativa de 9%. Los valores absolutos mínimos, fluctuaron entre 16,05% - 26,06% para el primer caso señalado y valores absolutos máximos que fluctuaron entre 33,39% - 39,07% para el segundo caso.

Los valores promedios mínimos fueron de un 20,32% para una altura relativa de 81% y los valores promedios máximos fueron de un 35,89% para una altura relativa de 9% (Ver Apéndice 7A).

MADERA

TARDIA (%)



ALTURA

% m

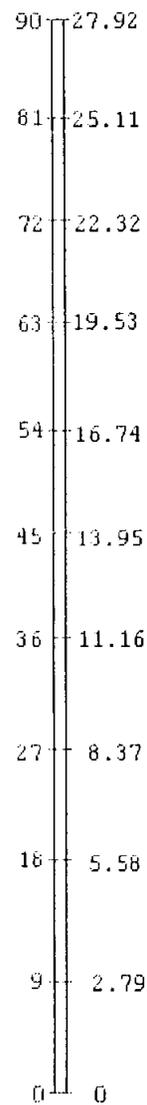
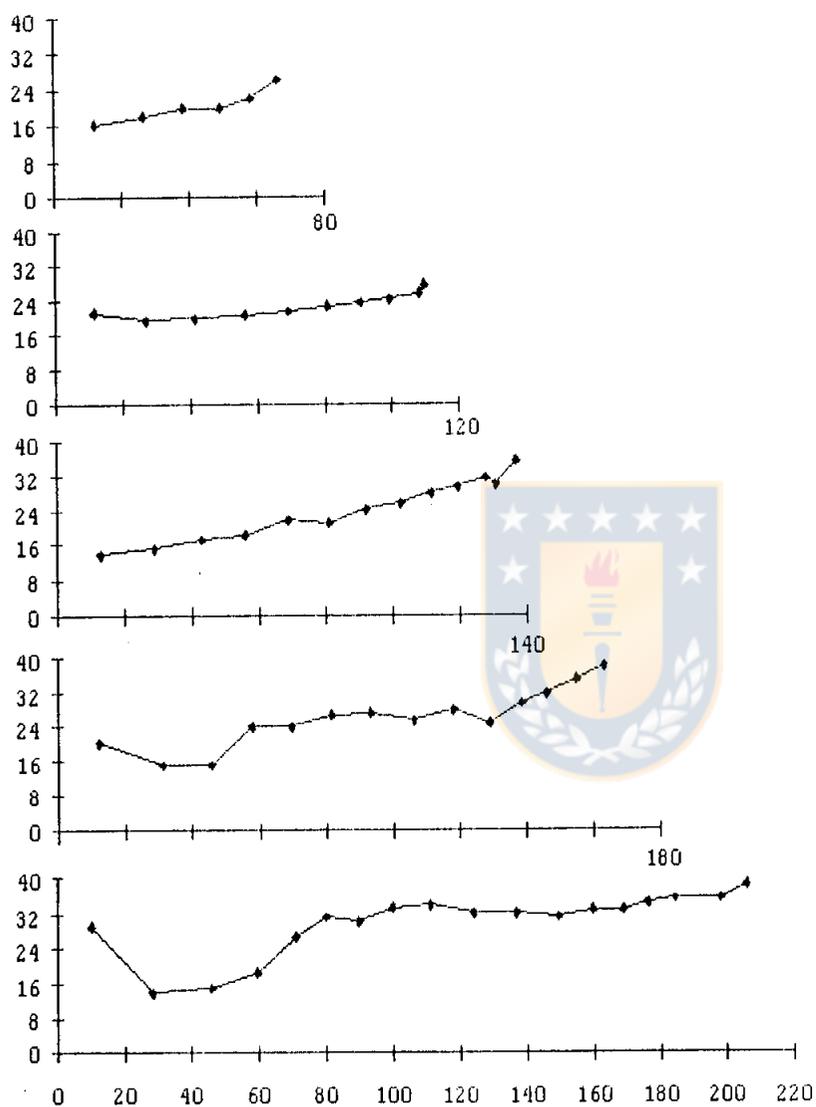


Figura 7. Patrón de variación radial y en altura de la madera tardía (%) en relación al anillo de crecimiento.

MADERA

TARDIA (%)



ALTURA

% m

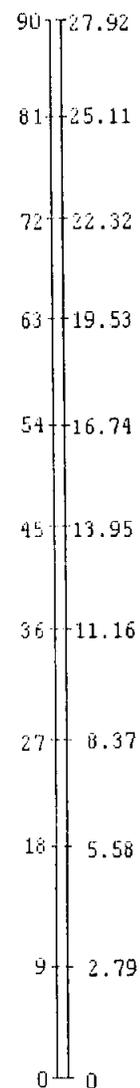


Figura 8. Patrón de variación radial y en altura de la madera tardía (%) en relación a la distancia desde la médula (mm).

4.4 Simulación de la madera tardía (%)

La simulación de la variación radial y en altura en el fuste de la madera tardía se llevó a cabo a través de un modelo matemático basado en el método de Aproximación discreta de mínimos cuadrados. En el cual se determina una función que representara lo mejor posible a un conjunto de puntos dados, de modo tal, que pueda establecerse una relación entre dos variables de la cual se conocen los pares ordenados (Figueroa, 1988).

El modelo se originó mediante una serie de regresiones no lineales, representadas por un grupo de ecuaciones que a diferente altura en el fuste fueron ajustadas (Xin Tian et al., 1996). Y que permitieron representar el patrón de variación de la madera tardía (%).

Cada ecuación ajustada fue originada empleando el método de aproximación discreta de mínimos cuadrados (Figueroa, 1988), y el ajuste se hizo utilizando un software matemático que determinó las ecuaciones de mejores características (Ver Apéndice 8A).

El comportamiento de la madera tardía fue descrito por la misma ecuación. La que a su vez mostró variaciones, sólo en el valor de los parámetros que la conformaban, a diferente altura en el fuste.

De esta forma, un segundo ajuste fue realizado a través del cual cada parámetro quedó expresado en términos de una nueva ecuación (Ver Apéndice 9A)

Finalmente, el modelo matemático desarrollado quedó expresado de la siguiente forma:

$$MT = (b_1 + b_2 * H^3) + (b_3 + b_4 * H^{2,8095}) * A^{(b_5 + b_6 * H)^{1/2}}$$

Donde MT: Madera tardía (%).

A : Anillo de crecimiento (1 a 18 años).

H : Altura en el fuste (%).

b_1, \dots, b_6 corresponden a los parámetros de la función, cuyos valores son: $b_1 = 16,847$, $b_2 = -0,00001179$, $b_3 = 2,60034$, $b_4 = -0,00001215$, $b_5 = 0,3841$, $b_6 = 0,000993$.

Su representación se muestra en la figura 9 en donde se aprecia claramente el patrón que adquiere la madera tardía a lo largo del fuste.

La madera tardía comienza a disminuir progresivamente en altura hasta llegar a un valor mínimo cerca de la copa del árbol. En contraposición, los valores máximos fueron alcanzados a medida que se acerca a la base del árbol y de acuerdo al anillo de crecimiento, por esto se puede señalar que el comportamiento y variación que se presente en el fuste dependerá fundamentalmente de la altura y la edad cambial.

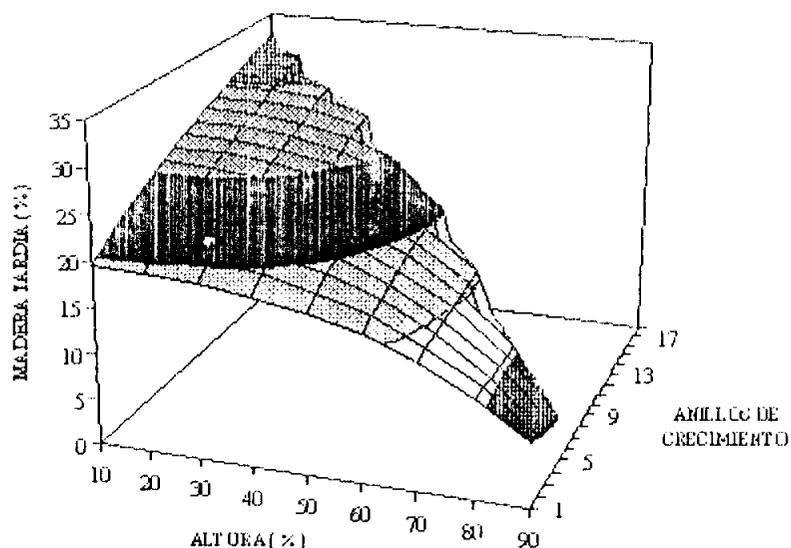


Figura 9 Simulación del comportamiento y variación de la madera tardía (%) a través del modelo matemático desarrollado.

4.5 Simulación de la densidad básica (g/cm^3)

La simulación de la variación radial y en altura en el fuste de la densidad básica se llevó a cabo utilizando la misma metodología del punto anterior.

Además, basándose en el patrón de variación descrito por la madera tardía, y en el estrecho nexo existente entre esta última y la densidad de la madera, fue utilizada la misma función para describir el comportamiento de la densidad básica a diferentes rangos de altura.

Las características que definieron esta función a diferente altura y la ecuación seleccionada para cada parámetro, son descritas en el Apéndice 10A y 11A. Quedando expresado el modelo matemático de la siguiente forma:

$$DB = (b_1 + b_2 * (\ln H)^2) + (b_3 + b_4 * (\ln H)^2) * MT^{(b_5 + b_6 / H)}$$

$$H > 5\%$$

Donde DB: Densidad básica (g/cm³)
 MT: Madera tardía (%).
 H : Altura en el fuste (%).

B₁,, b₆ corresponden a los parámetros de la función, cuyos valores son: b₁= 0,366918, b₂= -0,001650, b₃= 0,001398, b₄= 0,0002492, b₅= 0,56374, b₆= 3,7724.

Su representación se muestra en la figura 10 y figura 11 en donde se advierte el patrón que adquiere la densidad básica a lo largo del fuste.

La densidad básica aumentó con la edad cambial, pero disminuyó en altura. Los valores máximos se presentaron cerca de la base del árbol y en los anillos más externos.

Este aumento se presentó fundamentalmente por que la madera tardía se encuentra variando en igual dirección, dejando de manifiesto el rol que cumple el patrón de variación de esta en el comportamiento y variación de la densidad básica. De esta manera resulta tentador llegar a pensar que se puede

aprovechar dicha característica como un medio útil para poder estimar el comportamiento, variación de la madera producida en el fuste.

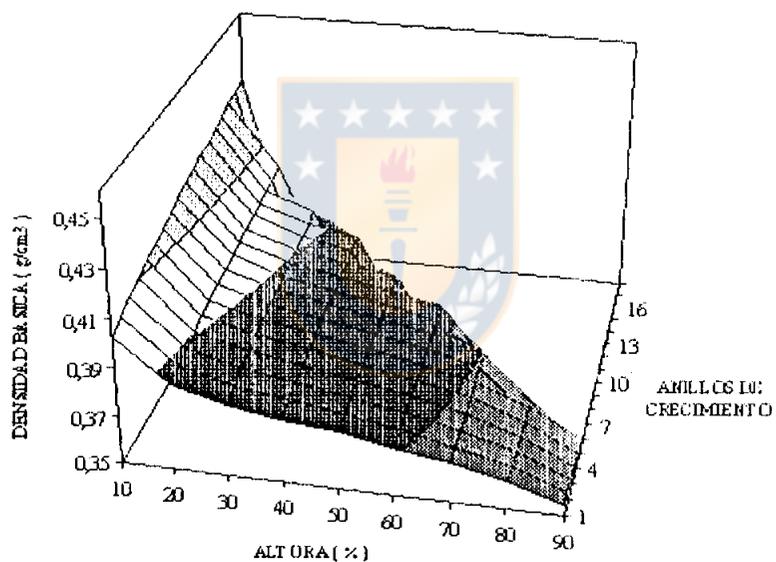


Figura 10 Patrón de variación de la densidad básica (g/cm^3), con la edad cambial y altura en el fuste.

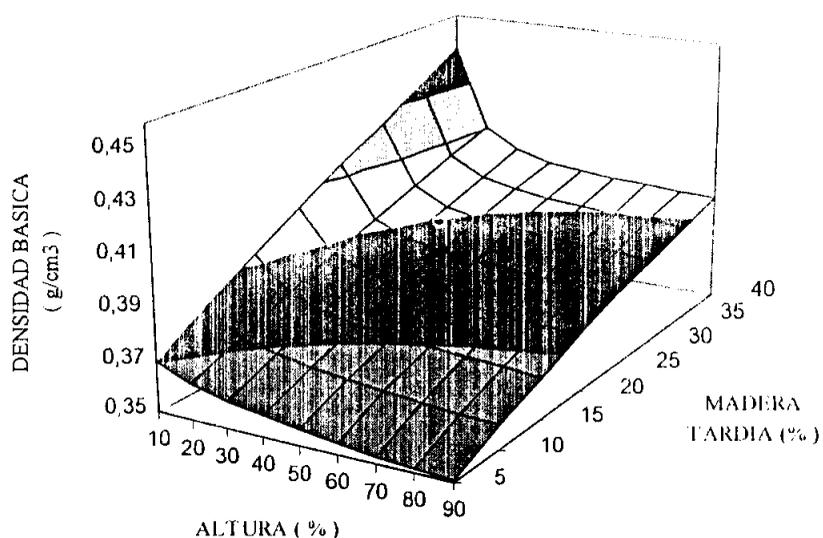


Figura 11 Simulación del comportamiento y variación de la densidad básica (g/cm^3) a través del modelo matemático desarrollado.

4.6 Relaciones

A través de un Software matemático se relacionó el porcentaje de madera tardía (MT) con las variables, ancho del anillo de crecimiento (AAC), distancia del anillo desde la médula (DDM) y densidad básica (DB).

Las funciones ajustadas por el Software fueron del tipo regresión simple, y la elección de estas fue hecha utilizando los siguientes criterios:

- Coeficiente de determinación (r^2).
- Error estándar de estimación (EEE).
- El estadístico F-Fisher (F).

4.6.1 Ancho del anillo de crecimiento. En el caso de las maderas blandas, la relación entre el porcentaje de madera tardía y el ancho del anillo de crecimiento varía entre especies, pero generalmente la correlación es baja (Tsoumis, 1991: 73).

Sin embargo, este no es el caso para *Pinus radiata* D. Don, en donde, la variable ancho del anillo de crecimiento a pesar de presentar la más baja correlación (Tabla 1) el valor alcanzado fue significativamente alto, explicando en un 90,31% el porcentaje de madera tardía formado. Esto puede deberse principalmente a las características de desarrollo de la especie en Chile, acentuadas por la influencia de factores edafoclimáticos y tratamientos silviculturales.

La Figura 12, muestra que ambas variables están inversamente relacionadas donde un aumento en el ancho del anillo de crecimiento genera una disminución del porcentaje de madera tardía formada (Tsoumis, 1991: 73), producto de un aumento en los niveles de madera temprana presentes en el anillo.

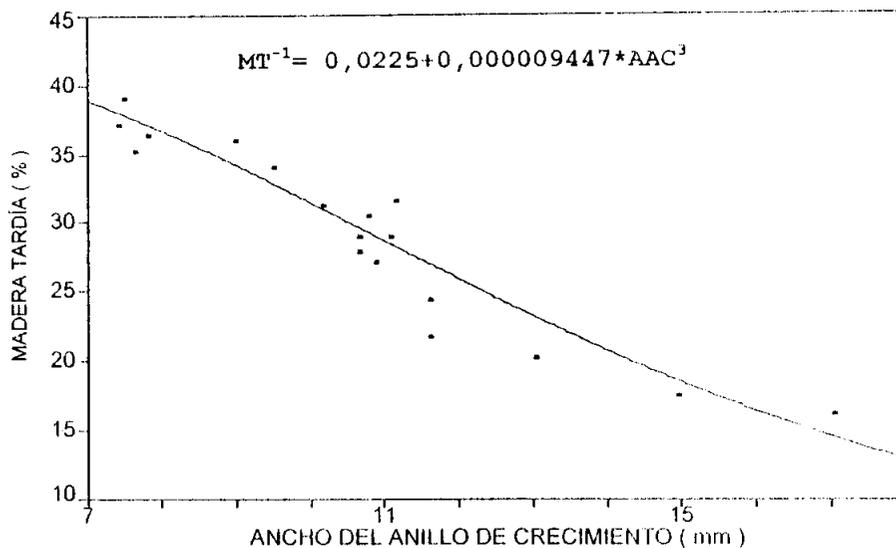


FIGURA 12 Relación entre los valores promedios de la variable madera tardía (%) con el ancho del anillo de crecimiento (mm).

4.6.2 Distancia del anillo desde la médula. Esta relación no ha sido documentada directamente, pero se ha observado que está ligada al patrón de variación radial de la madera tardía producida en el fuste, y a la edad cambial de los anillos de crecimiento.

Tanto el porcentaje de madera tardía como la distancia del anillo desde la médula mostraron estar fuertemente correlacionadas, donde, la madera tardía fue explicada en un 92,51% por esta última (Tabla 1).

La tendencia mostró que mientras mayor es la distancia desde la médula, mayor es el porcentaje de madera tardía producido (Fig 13)

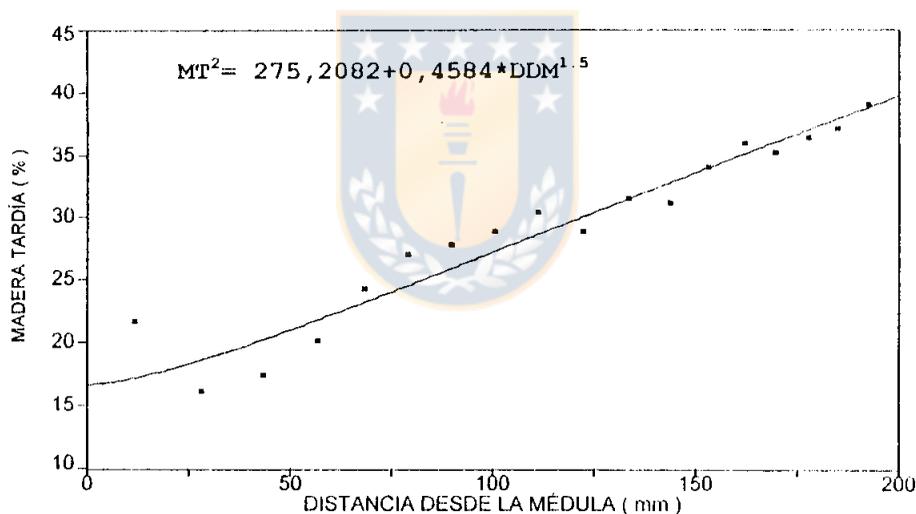


FIGURA 13 Relación entre los valores promedios de la variable madera tardía (%) con la distancia del anillo desde la médula (mm).

4.6.3 Densidad básica. Se ha observado una alta correlación entre la cantidad de madera tardía formada y la densidad del anillo, en las maderas blandas (Wimmer,1991; citado por De Kort, 1993).

La variable densidad básica fue explicada en un 95,49% por el porcentaje de madera tardía (Tabla 1), principalmente por que existe una buena correspondencia entre ambas variables (Barbour et al., 1994).

TABLA 1 CRITERIOS DE SELECCION DE LAS FUNCIONES AJUSTADAS

| Funciones Ajustadas | Parámetros Estimados | Criterios de Selección | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---------|-----------|----|
| | | r^2 | EEE | F | n |
| $MT^{-1}=a+b \cdot AAC^3$ | a= 0,0225 b= 9,4474E-6 | 0,9031 | 2,2063 | 149,137 * | 18 |
| $MT^2= a+b \cdot DDM^{1.5}$ | a= 275,2082 b= 0,4584 | 0,9251 | 1,9396 | 197,677 * | 18 |
| $DB^2= a+b \cdot MTLnMT$ | a= 0,07132 b= 0,00089 | 0,9549 | 0,00756 | 338,782 * | 18 |

Nota: * :Significante al 5%

leyenda r^2 : coeficiente de determinación, EEE: Error estandar de estimación, F: Estadístico F-Fisher, MT: Madera tardía (%), DDM: Distancia desde la médula (mm)
AAC: Ancho del anillo de crecimiento (mm), n: Número de observaciones, correspondientes a los valores promedios por anillo.

Al aumentar el porcentaje de madera tardía, aumentó también la densidad básica, con lo cual se tuvo una relación casi lineal en que ambas variables ascendieron prácticamente en proporción directa (Fig.14).

Esto coincide con estudios realizados por Balatinecz y Kennedy (1968); Diaz-Vaz y Ojeda (1980); Daniel et al. (1982) y Welch (1927); citado por Bamber y Burley (1983); Barbour et al. (1994) quienes señalan que la densidad se encuentra ligada estrechamente al porcentaje de madera tardía producido en el anillo.

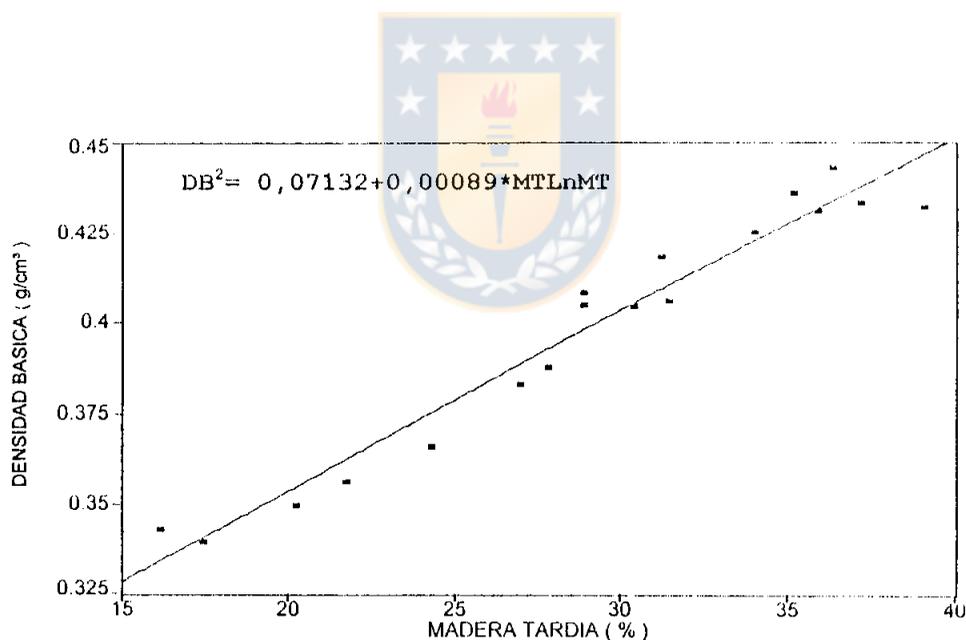


FIGURA 14 Relación entre los valores promedios de la variable densidad básica (g/cm³) con la madera tardía (%).

V CONCLUSIONES

- La madera tardía formada en el fuste mostró siempre un aumento desde la médula hacia la corteza, y desde el ápice a la base del árbol.
- Los porcentajes de madera tardía registrados alcanzaron valores promedios de 24,09 % en la zona de madera juvenil y de 34,91 % en la zona de madera madura, cuando la variación descrita fue en sentido radial.
- Los porcentajes de madera tardía registrados alcanzaron valores promedios de 19 % cerca del ápice y de 30 % cerca de la base del árbol, cuando la variación descrita fue en altura.
- Las variables ancho del anillo de crecimiento, distancia del anillo desde la médula y densidad básica presentaron correlaciones significativas con la madera tardía formada en el fuste.

VI RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo, fue determinar el patrón de variación radial y en altura del porcentaje de madera tardía, en fustes de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) provenientes de un rodal de 18 años de edad, y con manejo silvícola (poda y raleo).

Se muestrearon seis árboles, y las mediciones del porcentaje de madera tardía se realizaron en rodelas obtenidas a diferentes alturas del fuste del árbol. Además se midió la densidad básica del anillo individual en cada rodela.

El patrón de variación radial del porcentaje de madera tardía mostró un incremento desde la médula hacia la corteza, y este patrón de variación fue igual para las diferentes alturas en el fuste del árbol.

El patrón de variación en altura mostró una disminución del porcentaje de madera tardía desde la base hacia el ápice del árbol.

Finalmente, se modeló tanto el comportamiento del porcentaje de madera tardía como el de la densidad básica de la madera para el fuste del árbol.

SUMMARY

The main purpose of this work was to determine of both radial pattern and in height pattern of the latewood percentage in stems of radiata pine trees (*Pinus radiata* D. Don), came from a stand of 18 year old (pruned and thinning).

Six trees were sampled from of forest and the latewood percentage on disks were measured, which were taken at different heights of the stem. Furthermore, the basic density of individual annual rings were also measured on each disk.

The radial pattern of latewood percentage showed an increase from the pith to the bark, and this pattern was the same for the different heights on the stem.

The pattern in height of the latewood percentage on the stem showed a decrease from the base to the apex of the tree.

Finally, both the behavior of latewood percentage and the basic density of wood were modeled for the stem of the tree.

VII BIBLIOGRAFIA

1. Almeyda, E. y F. Sáez. 1995. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago, Chile.
2. Balatinecz J. J. y R. W. Kennedy. 1968. Mechanism of Earlywood-Latewood differentiation in **Larix decidua**. TAPII 51(9):414-422.
3. Baldini, J. 1994. Análisis del crecimiento de un rodal adulto de **Pinus radiata** D. Don. Memoria de Título, Ing. Forestal. Univ. Concepción, Fac. Cienc. For., Dpto. Silvicultura. Concepción, Chile.
4. Bamber, R. K. y J. Burley. 1983. Earlywood and Latewood. pp 29-34. The wood properties of **Radiata pine**. Commonwealth Agricultural Bureaux. London, England.

5. Barbour, R. J.; D. C. F. Fayle; G. Chauret; J. Cook; M. B. Karsh, y S. Ran. 1994. Breast - height relative density and radial growth in mature Jack Pine (*Pinus banksiana*) for 38 years after thinning. Can. J. For. Res. 24(12):2439-2447.
6. Cown, D. J. 1992 Suitability for processing New Zealand *Radiata Pine* and *Douglas Fir*. FRI Bulletin 168, Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
7. Cown, D. J. 1992b. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata*-should we be concerned ?. New Zealand Journal of Forestry Science 22(1):87-95.
8. Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Mc Graw-Hill. México.
9. Díaz-Vaz, J. E. y F. Ojeda. 1980. Densidad intraincremental de *Pseudotsuga menziesii*. Bosque 3(2):86-95.
10. Díaz-Vaz, J. E. 1981. Delimitación de madera Temprana-Tardía y Juvenil-Madura en Pino oregón. Bosque 4(1):55-58.

11. Esau, K. 1959. Anatomía vegetal. Omega. Barcelona, España.
12. FIA. 1990. Proyecto suelos forestales de la VIII región. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
13. Figueroa, H. E. 1988. Introducción al análisis numérico. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
14. Foulger, A. N. 1972. Clases prácticas sobre las propiedades de la madera. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Agencia para el desarrollo internacional (A.I.D.). Buenos Aires, Argentina.
15. Haygreen, J.G. y J. L. Bowyer. 1982. Forest products and wood science. The Iowa State University Press/Ames. U.S.A.
16. Hawley, R. C. y D. M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. (6a. Ed.). Omega. Barcelona, España.

17. Infor (Instituto Forestal).p 1991. Madera. Estructura y Propiedades. pp 6-9. Manual de construcciones en madera N°10. INFOR, CORFO. Santiago, Chile.
18. Kininmonth, J. A. y L. J. Whitehouse. 1991. Properties and uses of New Zealand **Radiata pine**. Vol one. Ministerio of Forestry, Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
19. Kramer, P. J. y T. T. Kozlowski. 1960. Phisiology of trees. Mc Graw-Hill. New York, U.S.A.
20. Larocque, G. R. y P. L. Marshall. 1995. Wood relative density development in Red pine (***Pinus resinosa*** Ait.) stands as affected by different initial spacings. For. Sci. 41(4):709-728.
21. Larson, P. R. 1960. A physiological consideration of the Springwood Summerwood transition in **Red pine**. For. Sci. 6(2):110-122.

22. Pezo, R. 1997. Determinación del patrón de distribución de la fibra en espiral en fustes de *Pinus radiata* D. Don, en un rodal de 18 años de edad. Memoria de Título, Ing. Forestal. Univ. Concepción, Fac. Cienc. For., Dpto. Manejo Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile.
23. Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1980. Ecología Forestal. AGT Editor. México.
24. Szymanski, M. B. y C. G. Tauer. 1991. *Loblolly Pine* provenance variation in age of transition from Juvenile to Mature wood specific gravity. For. Sci. 37(1):160-174.
25. Tsoumis, G. 1991. Science and Technology of wood. Chapman and Hall. New York, U.S.A.
26. Wangaard, F. F. 1950. The mechanical properties of wood. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A.
27. Xin Tian, D.J. Cown, y M. J.F. Lausberg. 1996. Modelling of *Pinus radiata* wood properties, part 1: Spiral Grain. New Zealand Journal of Forestry Science 25(2):200-213.

28. Zimmermann, M. H. 1964. The formation of wood in forest trees. Academic Press. New York, U.S.A.
29. Zimmermann, M. H. y C. L. Brown. 1980. Tress structure and function. (4a. Ed.) Springer-Verlag. New York, U.S.A.
30. Zobel, B. J., G. Van Wyk y P. Stahl. 1987. Growing exotic forests. Wiley. New York, U.S.A.



VIII. APENDICE



TABLA 1A CARACTERÍSTICAS DE LOS ARBOLES SELECCIONADOS EN EL ESTUDIO.

| Características Generales | Número de Rodelas | Altura de la rodela (m) | Altura de la rodela (%) | Características Generales | Número de Rodelas | Altura de la rodelas (m) | Altura de la rodelas (%) |
|--|-------------------|-------------------------|-------------------------|--|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| Arbol 1 : intensivo Altura total: 31,38 m D.a.p. : 36,2 cm | 1 | 1,34 | 4,3 | Arbol 1 : extensivo Altura total: 27,95m D.a.p. : 30,9 cm | 1 | 0,3 | 1,07 |
| | 2 | 1,53 | 4,9 | | 2 | 3,7 | 13,24 |
| | 3 | 2,52 | 6 | | 3 | 7,05 | 25,22 |
| | 4 | 4,6 | 14,7 | | 4 | 10,35 | 37,03 |
| | 5 | 8,03 | 25,6 | | 5 | 14 | 50,09 |
| | 6 | 10,07 | 32,1 | | 6 | 17,3 | 61,9 |
| | 7 | 12,8 | 40,8 | | 7 | 20,73 | 74,17 |
| | 8 | 16,15 | 51,5 | | | | |
| | 9 | 19,75 | 62,9 | | | | |
| Arbol 2 : intensivo Altura total: 32,15 m D.a.p. : 42,2 cm | 1 | 1,5 | 4,6 | Arbol 2 : extensivo Altura total: 44,5m D.a.p. : 42,2 cm | 1 | 0,3 | 0,96 |
| | 2 | 2,26 | 7,4 | | 2 | 3,7 | 11,86 |
| | 3 | 4,38 | 13,6 | | 3 | 7,39 | 23,69 |
| | 4 | 7,84 | 24,4 | | 4 | 10,69 | 34,26 |
| | 5 | 9,86 | 31 | | 5 | 14,04 | 45 |
| | 6 | 13,35 | 41,5 | | 6 | 17,43 | 55,87 |
| | 7 | 16,65 | 58 | | 7 | 24,43 | 78,3 |
| | 8 | 20,6 | 64 | | | | |
| | 9 | 23,9 | 74,3 | | | | |
| Arbol 3 : intensivo Altura total: 31,5 m D.a.p. : 48,2 cm | 1 | 1,24 | 5,1 | Arbol 3 : extensivo Altura total: 30,25 m D.a.p. : 52,1 cm | 1 | 0,3 | 0,99 |
| | 2 | 2,47 | 7,8 | | 2 | 3,54 | 11,7 |
| | 3 | 4,21 | 13,4 | | 3 | 6,84 | 22,61 |
| | 4 | 7,04 | 22,3 | | 4 | 9,92 | 32,79 |
| | 5 | 8,07 | 25,6 | | 5 | 13,17 | 43,54 |
| | 6 | 11,69 | 37,1 | | 6 | 16,57 | 54,78 |
| | 7 | 14,8 | 46 | | 7 | 20,5 | 67,77 |
| | 8 | 18,93 | 60,1 | | 8 | 24,5 | 80,99 |
| | 9 | 22,13 | 70,3 | | | | |
| | 10 | 24,22 | 76,9 | | | | |
| | 11 | 26,37 | 85,7 | | | | |

TABLA 2A RESUMEN DE ANALISIS DE VARIANZA PARA LAS VIGUETAS
PROVENIENTES DE LOS ARBOLES INTENSIVOS (RADIOS, NORTE Y SUR)

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | F (calculado) | F (tabla) |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------------|-----------|
| Variabes | 45,469 | 1 | 45,469 | 0,98** | 7,56 |
| Error | 1391,6637 | 30 | 46,389 | | |
| Total | 1437,1327 | 31 | | | |

Nota: **: Significante al 1%

TABLA 3A RESUMEN DE ANALISIS DE VARIANZA PARA LAS VIGUETAS
PROVENIENTES DE LOS ARBOLES EXTENSIVOS (RADIOS, ESTE Y OESTE)

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | F (calculado) | F (tabla) |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------------|-----------|
| Variabes | 6,3504 | 1 | 6,3504 | 0,117** | 7,46 |
| Error | 1843,2264 | 34 | 54,2125 | | |
| Total | 1849,5768 | 35 | | | |

Nota: **: Significante al 1%

TABLA 4A RESUMEN DE ANALISIS DE VARIANZA PARA LAS VIGUETAS
PROVENIENTES DE ARBOLES INTENSIVOS Y ARBOLES EXTENSIVOS

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | F (calculado) | F (tabla) |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------------|-----------|
| Variabes | 140,46 | 1 | 140,46 | 2,885** | 7,51 |
| Error | 1558,08 | 32 | 48,69 | | |
| Total | 1698,54 | 33 | | | |

Nota: **: Significante al 1%

TABLA 8A CRITERIOS DE SELECCION DE LAS FUNCIONES AJUSTADAS A DIFERENTE ALTURA EN EL FUSTE PARA MADERA TARDIA (%).

| Altura (%) | Ecuación | Parámetros | r ² | EEE | n ^d | F (calculado) | F (tabla) |
|------------|-----------------------------|---|----------------|---------|----------------|---------------|-----------|
| 10 | MT = a + b * A ^c | a= 43,1948 b= -0,2463 c= 1,6485 | 0,8345 | 3,0216 | 18 | 37,81** | 6,36 |
| 35 | MT = a + b * A ^c | a= 42,065 b= -2,1731 c= 0,88118 | 0,7735 | 3,9269 | 13 | 17,08** | 10,04 |
| 45 | MT = a + b * A ^c | a= 35,355 b= -0,0999 c= 1,9655 | 0,8504 | 2,827 | 13 | 28,43* | 5,79 |
| 65 | MT = a + b * A ^c | a= 64,0038 b= -24,5211 c= 0,22269 | 0,5887 | 4,3613 | 8 | 6,58* | 5,79 |
| 75 | MT = a + b * A ^c | a= 73,8983 b= -22,3211 c= 0,3589 | 0,9587 | 1,0737 | 6 | 34,81** | 30,82 |
| 85 | MT = a + b * A ^c | a= 115,1137 b= -41,544 c= 0,3492 | 0,8409 | 2,56107 | 5 | 25,289* | 19,00 |

NOTA: * : Significante al 5%.

** : Significante al 1%.

LEYENDAS:

MT : Madera tardía (%).

A : Anillo de crecimiento (varía de 1 a 16 años).

r² : Coeficiente de determinación.

EEE: Error estándar de estimación.

F : Estadístico F-Fisher.

n : Número de observaciones.

d) : Las observaciones corresponden a los valores promedios por anillo y cada observación está compuesta por un par de puntos.

TABLA 9A FUNCIONES AJUSTADAS PARA LOS PARAMETROS A, B, Y C PROVENIENTES DE LAS ECUACIONES ENCONTRADAS PARA MADERA TARDIA (%).

| Parámetros | Funciones Ajustadas | Valores | r ² | EEE | n | F (calculado) | F (tabla) |
|------------|----------------------------------|---|----------------|--------|---|---------------|-----------|
| a | $Y = a_1 + a_2 \cdot X^2$ | $a_1 = 16.847$ $a_2 = -1.179 \text{ E-5}$ | 0,9192 | 1,0576 | 6 | 45,49** | 21,20 |
| b | $Y = b_1 + b_2 \cdot X^{2.8025}$ | $b_1 = 2.60034$ $b_2 = -1.215 \text{ E-5}$ | 0,9284 | 0,8870 | 6 | 19,45* | 9,55 |
| c | $Y^2 = c_1 + c_2 \cdot X$ | $c_1 = 0,3841$ $c_2 = 9,93 \text{ E-4}$ | 0,8636 | 1,2507 | 6 | 25,34** | 21,20 |

NOTA: * : Significante al 5%.
** : Significante al 1%.

LEYENDA:
Y: Parámetros, a, b, y c.
X: Altura en el fuste (%).
r²: Coeficiente de determinación.
EEE: Error estándar de estimación.
F : Estadístico F-Fisher.
n : Número de observaciones.



TABLA 10A CRITERIOS DE SELECCION DE LAS FUNCIONES AJUSTADAS A DIFERENTE ALTURA EN EL FUSTE PARA DENSIDAD BASICA (g/cm³).

| Altura (%) | Ecuación | Parámetros | r ² | EEE | nd) | F (calculado) | F (tabla) |
|------------|-------------------------|--|----------------|--------|-----|---------------|-----------|
| 9 | DB= a+b*MT ⁿ | a= 0,32591 b= 3,16625E-5 c=2,27011 | 0,8526 | 0,0144 | 18 | 43,38** | 6,36 |
| 27 | DB= a+b*MT ⁿ | a=0,27689 b=0,00188 c=1,24490 | 0,8154 | 0,0176 | 14 | 24,29** | 7,21 |
| 45 | DB= a+b*MT ⁿ | a=0,18297 b=0,03711 c=0,53023 | 0,8137 | 0,0157 | 13 | 21,83** | 10,04 |
| 63 | DB= a+b*MT ⁿ | a=0,04414 b=0,02596 c=0,80998 | 0,9882 | 0,0035 | 10 | 295,59** | 9,55 |
| 81 | DB= a+b*MT ⁿ | a=0,15471 b=0,03124 c=0,63047 | 0,8733 | 0,0108 | 6 | 10,34* | 9,55 |

NOTA:

* : Significante al 5%.
** : Significante al 1%.

LEYENDA:

DB: Densidad básica (g/cm³)
MT: Madera tardía (%)
r²: Coeficiente de determinación
EEE: Error estándar de estimación
F : Estadístico F-Fisher.
n : Número de observaciones.
d) : Las observaciones corresponden a los valores promedios por anillo y cada observación está compuesta por un par de puntos.



ANEXO 1

Para la obtención de los árboles muestra se realizó una estratificación de las clases diamétricas en base a la distribución del número de árboles por hectárea.

El gráfico de distribución diamétrica del rodal se dividió en tres secciones con similar número de árboles por ha, quedando definidas aproximadamente por las siguientes clases diamétricas: de 28-38 cm, de 38-44 cm y de 44-54. Luego, en cada sección se calculó el diámetro cuadrático medio, el cual representó el árbol de área basal media en cada una de ellas, a partir del cual se obtuvieron dos árboles por sección, uno que recibió el nombre de árbol intensivo y el otro de árbol extensivo.



Mayores detalles de la metodología utilizada en la obtención y selección de las viguetas, remitirse a Pezo (1997).