

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 SILVICULTURA

ANALISIS DE BIOMASA DEL VUELO DE UN RODAL ADULTO DE

Pinus radiata D.Don

MEMORIA PARA OPTAR

AL TITULO DE

INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1998

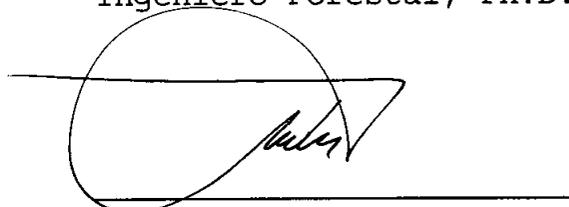
ANALISIS DE BIOMASA DEL VUELO DE UN RODAL ADULTO DE
Pinus radiata D.Don

Profesor Asesor



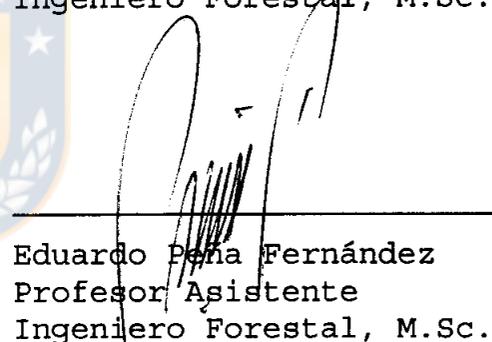
Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph.D.

Profesor Asesor



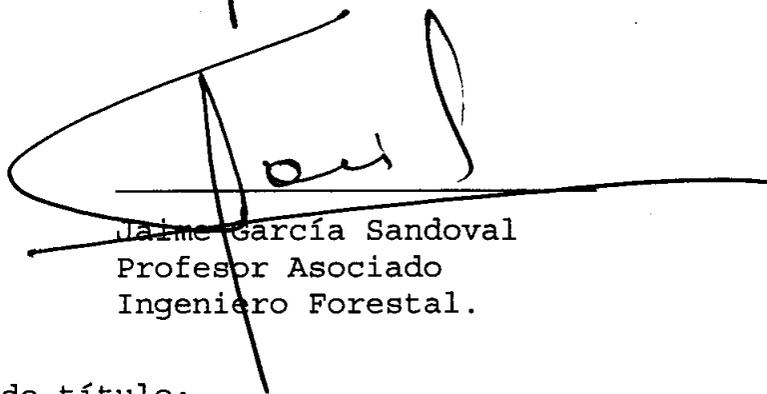
Jorge Cancino Cancino
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, M.Sc.

Director Departamento
Silvicultura



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

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Miguel Espinosa Bancalari : 75 (setenta y cinco) puntos
Jorge Cancino Cancino : 75 (setenta y cinco) puntos



A Dios
A mis padres
A mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

- A la Empresa Forestal Mininco S.A. por facilitar el material necesario para la ejecución de este estudio.
- A don Fernando Muñoz Sáez por toda la colaboración brindada en la disponibilidad, búsqueda y traslado del material de trabajo.
- A don Miguel Espinosa Bancalari por su colaboración, amabilidad y buena disposición para el desarrollo de este estudio y a lo largo de los años de estudio.
- A don Jorge Cancino Cancino por su colaboración, aporte de conocimientos y orientación hacia la correcta ejecución de este estudio.
- A todas las personas que de alguna forma ayudaron y facilitaron la ejecución de este estudio.

INDICE DE MATERIAS

| CAPITULOS | PAGINA |
|---|--------|
| I INTRODUCCION..... | 1 |
| II METODOLOGIA..... | 4 |
| 2.1 Descripción del área de estudio..... | 4 |
| 2.2 Descripción del rodal en estudio..... | 4 |
| 2.3 Tamaño de la muestra..... | 5 |
| 2.4 Obtención de datos de terreno..... | 6 |
| 2.5 Obtención de datos en laboratorio..... | 8 |
| 2.6 Estimación de la masa seca fustal..... | 9 |
| 2.7 Estimación de la masa seca de la copa..... | 11 |
| 2.8 Análisis de los datos..... | 13 |
| III RESULTADOS Y DISCUSION..... | 14 |
| 3.1 Dimensiones medias de los árboles..... | 14 |
| 3.2 Análisis de volumen y de la biomasa total y por componente..... | 16 |
| 3.3 Distribución de la masa del fuste según altura relativa en el árbol..... | 22 |
| 3.4 Fracciones de masa seca y espesor de corteza del fuste..... | 24 |
| 3.5 Fracciones de masa seca de la copa..... | 29 |
| 3.6 Funciones predictoras de biomasa..... | 37 |
| IV CONCLUSIONES..... | 39 |
| V RESUMEN..... | 40 |
| VI SUMMARY..... | 41 |
| VII BIBLIOGRAFIA..... | 42 |

VIII APENDICE..... 44

IX ANEXO..... 58



INDICE DE TABLAS

| TABLA N° | PAGINA |
|--|--------|
| <u>En el texto</u> | |
| 1 Dap de los árboles muestra y frecuencia por clase de copa..... | 6 |
| 2 Características medias de los árboles muestra.... | 15 |
| 3 Biomasa promedio (kg/árbol) y participación de cada componente (%) por clase de copa..... | 17 |
| 4 Biomasa de cada componente por hectárea (t/ha) y participación porcentual de cada componente por clase de copa respecto al total por hectárea..... | 18 |
| 5 Comparación de la biomasa por componente en rodales de <u>Pinus radiata</u> D.Don de distintas localidades y edades..... | 19 |
| 6 Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (<i>Fms</i>) y de la fracción de corteza seca (<i>Fcs</i>) según altura relativa (%) en árboles dominantes..... | 26 |
| 7 Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (<i>Fms</i>) y de la fracción de corteza seca (<i>Fcs</i>) según altura relativa (%) en árboles codominantes..... | 27 |

| | | |
|----|---|----|
| 8 | Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (<i>Fms</i>) y de la fracción de corteza seca (<i>Fcs</i>) según altura relativa (%) en árboles intermedios..... | 28 |
| 9 | Fracciones de masa seca de la copa..... | 32 |
| 10 | Funciones predictoras de biomasa por componente y estadística asociada..... | 38 |

En el Apéndice

| | | |
|-----|--|----|
| 1 A | Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles dominantes..... | 45 |
| 2 A | Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles codominantes..... | 47 |
| 3 A | Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles intermedios..... | 49 |
| 4 A | Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles dominantes..... | 51 |

| | | |
|------|--|----|
| 5 A | Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles codominantes..... | 52 |
| 6 A | Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles intermedios..... | 53 |
| 7 A | Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodela extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles dominantes..... | 54 |
| 8 A | Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodela extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles codominantes..... | 55 |
| 9 A | Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodela extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles intermedios..... | 56 |
| 10 A | Distribución de la biomasa por clase de copa y promedio según altura relativa..... | 57 |

En el Anexo

| | | |
|-----|---|----|
| 1 B | Tabla de rodal de la plantación en estudio..... | 59 |
|-----|---|----|

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA N° | PAGINA |
|---|--------|
| <u>En el texto</u> | |
| 1 Cobertura de copas de un sector del rodal en estudio..... | 7 |
| 2 Obtención de rodelas de los árboles muestra a diferentes alturas del fuste..... | 7 |
| 3 Obtención de la masa verde de copa en terreno.... | 8 |
| 4 Distribución de masa seca de madera, corteza y total según altura relativa por clase de copa (Valores estimados)..... | 23 |
| 5 Fracción de madera seca (<i>Fms</i>) según altura relativa por clase de copa..... | 25 |
| 6 Fracción de corteza seca (<i>Fcs</i>) según altura relativa por clase de copa..... | 30 |
| 7 Espesor de corteza (<i>EC</i>) según altura relativa por clase de copa..... | 31 |
| 8 Fracciones de masa seca de copa por componente, sección y clase de copa..... | 35 |

I INTRODUCCION

La biomasa de un ecosistema se define como la masa seca total de los organismos vivos presentes en él en un momento determinado. Generalmente se expresa en unidades de masa seca por unidad de superficie (Newbould, 1967). En un escenario más restringido, la biomasa forestal se define como la masa de todos los componentes arbóreos, salvo tocón y raíces, en una superficie dada. Este parámetro es el que mejor expresa la productividad de un sistema biológico. Desde la perspectiva forestal, la masa seca del material leñoso está más relacionado con el rendimiento de material astillable, pulpable y combustible que los parámetros habitualmente medidos en inventarios de madera en pie (De la Maza, 1991). Referido a un árbol, la biomasa se define como la masa del ejemplar por sobre el nivel del suelo o corta; puede ser total o separado entre los componentes principales como son el fuste, ramas y follaje. A su vez la biomasa del fuste puede referirse a un diámetro límite de utilización (Sáez, 1991).

Al establecer un bosque con fines productivos, particularmente en lo que a producción de madera se refiere, el principal objetivo es maximizar su productividad, lo que implica un óptimo aprovechamiento de la potencialidad del sitio, cuidando la sustentabilidad del mismo.

Las formas de medición de la productividad dependen de varios factores, entre los que destacan factores económicos

y técnicos, tiempo y costos involucrados, grado de precisión requerida, pero principalmente del objetivo de producción del bosque. Así, por ejemplo, el criterio a utilizar, cuando el objetivo es la producción de madera aserrada, pulpa, debobinado u obtención de chapas, es el rendimiento volumétrico por unidad de superficie o por árbol. En cambio, en lo que se refiere a producción de leña, astillas y otros productos, la estimación de la masa seca puede ser una importante medida de productividad debido a que, más que la forma geométrica del fuste del árbol, lo que interesa es la determinación de la biomasa de cada uno de los componentes, ya que esos productos no exigen una forma definida ni un tamaño especial del fuste (Linerós, 1986).

La medición directa de la masa de un árbol, ya sea total o por componente (madera, corteza, ramas, ramillas y acículas), es un proceso difícil y costoso, por lo que es más conveniente realizar una estimación de la masa seca de cada componente. Esa estimación se realiza a partir de submuestras consistentes en rodelas, ramas, ramillas y otros, obtenidos de árboles seleccionados según algún criterio. La masa seca de cada componente del árbol se estima usando fracciones de masa seca/masa verde de las submuestras obtenidas (Linerós, 1986), o mediante funciones ajustadas con esa información.

El objetivo general de este estudio es la determinación de la biomasa por árbol y por hectárea de un rodal adulto de Pinus radiata D. Don.

Entre los objetivos específicos están el establecer la participación de cada componente en la biomasa seca total sobre el suelo y analizar la participación de cada componente entre clases de copa. A su vez se busca ajustar funciones predictoras de biomasa por componente y total utilizando variables de estado de fácil obtención en terreno; determinar la distribución de la masa seca de madera y corteza a lo largo del fuste; analizar el comportamiento de las fracciones de masa seca de madera y corteza a lo largo del fuste, y de la madera de ramas, ramillas y acículas a lo largo de la copa viva.



II METODOLOGIA

2.1 Descripción del área de estudio.

La información utilizada en el estudio se recolectó en un rodal del Fundo Monterrey, ubicado entre las ciudades de Santa Juana y Nacimiento, a 83 km al sudeste de la ciudad de Concepción, VIII Región, Chile.

La precipitación media anual en el área de estudio es de 1.093 mm con una distribución de 294,8 mm en otoño (27%), 553 mm en invierno (51%), 171 mm en primavera (16%) y sólo 74,2 mm en verano (6%). La temperatura media anual es de 15,4°C, alcanzando la media máxima en enero a 28,6°C, con una media en enero de 19,0°C y en julio de 4,4°C. El lugar presenta períodos de sequía estival que comprenden cinco meses por año (Santibáñez y Uribe, 1993).

El rodal en estudio creció en un suelo de la serie Arenales, con una topografía abrupta, la cual presenta pendientes que van desde 6,6% a 43,3%.

2.2 Descripción del rodal en estudio.

El rodal fue establecido el año 1955, teniendo 42 años al momento de su cosecha, oportunidad en la que se realizó el muestreo para efectos de este estudio. El rodal abarcaba una superficie de 8,3 hectáreas, con una densidad de 315 árboles por hectárea y 59,24 m²/ha de área basal.

El rodal fue sometido a manejo silvícola (poda y raleo), efectuándose dos podas, la primera a una altura de 2,5 m cuando los árboles tenían aproximadamente ocho años de edad. La segunda poda fue realizada aproximadamente a los 13 años, fluctuando la altura de poda entre 9,3 m y 12 m. Si bien no se tiene información respecto a la fecha de ejecución de los raleos, se cree que se realizaron dos raleos comerciales, a juzgar por la densidad actual del rodal, los que no habrían sido ejecutados en forma oportuna por la estructura actual del rodal.

La calidad de los árboles era regular, pues aproximadamente sólo un tercio de ellos poseían fustes rectos y bien formados, predominando los árboles inclinados, de copas irregulares y con defectos a lo largo del fuste, tales como pudriciones y canchales.

2.3 Tamaño de la muestra.

El rango diamétrico del rodal fue dividido en tres clases de igual amplitud y se asumió que éstas correspondían a las clases de copa intermedio, codominante y dominante (Smith, 1986) (Tabla 1 B). Cada clase de dap se subdividió en cuatro intervalos y en cada uno de ellos se seleccionó un árbol de dap cercano a la marca de clase del intervalo (Tabla 1). Así, la muestra quedó constituida por 12 árboles, todos los cuales fueron utilizados para la estimación de los componentes de copa; uno de ellos se descartó para la estimación de los componentes fustales.

TABLA 1. Dap de los árboles muestra y frecuencia por clase de copa.

| Clase de copa | Dap (cm) | Arb/ha (n°) |
|---------------|---------------------|-------------------|
| Dominante | 57,0-60,4-63,2-65,6 | 82,5 (26,19%) |
| Codominante | 43,5-46,5-50,3-54,3 | 115 (36,51%) |
| Intermedio | 29,5-33,1-37,7-41,2 | 117,5 (37,30%) |
| Total | | 315 (100%) |

2.4 Obtención de datos de terreno.

Los árboles seleccionados fueron marcados y enumerados, midiendo en cada uno de ellos el radio de copa hacia los cuatro puntos cardinales (Figura 1), el dap y diámetro a los 30 cm de altura. Luego se procedió al volteo y a la medición del espesor de corteza a la altura del dap, altura hasta los dlu (diámetro límite de utilización) 10 cm y 20 cm, altura total (incluyendo longitud del tocón), longitud de copa viva, diámetro en la base de la copa viva y altura del tocón.

Posteriormente se obtuvo rodela en el tocón y a alturas variables según la calidad de la troza y especificación de la empresa: 5,5 m (exportable), 4,15 m (aserrable) y 2,44 m (pulpable) (Figura 2). Producto de la caída, la parte superior de los fustes se quebró, por lo que la última rodela se obtuvo a la máxima altura posible antes de la quebradura. El espesor de las rodela fluctuó entre 2 y 4 cm; éstas fueron etiquetadas, guardadas en bolsas plásticas y almacenadas a 2°C en cámaras de frío para su posterior análisis.

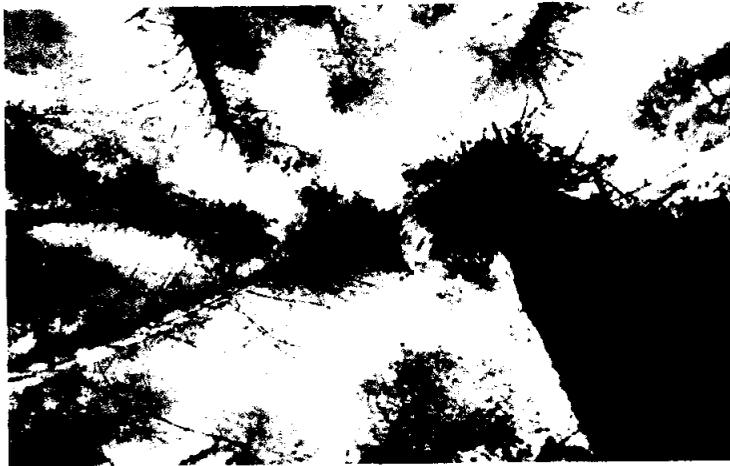


FIGURA 1. Cobertura de copas de un sector del rodal en estudio.



FIGURA 2. Obtención de rodelas de los árboles muestra a diferentes alturas del fuste.

La copa, delimitada por los verticilos de la base de la copa viva y el último verticilo visible, se dividió en cuatro secciones de similar longitud. Entre estos se escogieron tres verticilos regularmente distanciados.

Posteriormente se procedió al desrame y obtención de la masa de cada sección de la copa viva del árbol (Figura 3), mediante un dinamómetro (precisión 250 g). De cada sección se seleccionaron al azar tres ramas (submuestra de ramas) las que fueron etiquetadas y guardadas en bolsas plásticas para su posterior análisis en laboratorio.



FIGURA 3. Obtención de la masa verde de copa en terreno.

2.5 Obtención de datos en laboratorio.

En laboratorio se obtuvo la masa verde de las muestras de ramas obtenidas de cada sección de la copa viva del árbol; se obtuvo la masa total de cada rama y la masa de madera, ramillas y acículas por separado, medición realizada en una balanza electrónica (precisión 0,01 g). De todas las ramillas se obtuvo una submuestra de seis ramillas, de las que se obtuvo la masa de ramillas y de acículas. Posteriormente se secaron en horno a 100°C durante 24 horas, o hasta que alcanzara masa constante, y luego se pesaron en seco.

A las rodelas obtenidas de cada árbol se les determinó la masa verde y la gravedad específica, a partir de la relación entre la masa y el volumen (obtenido por desplazamiento de agua en un recipiente graduado), tanto en verde como en seco. También se determinó el diámetro dentro y fuera de corteza. Luego las rodelas fueron secadas en horno a 100°C durante 24 horas o hasta que alcanzaron masa constante. Se determinó así la masa seca, primero con la rodela con corteza y luego descortezada, para obtener la masa seca de la madera.

2.6 Estimación de la masa seca fustal.

Primero se determinó la densidad verde de la madera, relacionando la masa verde de cada rodela con su volumen respectivo, obtenido por desplazamiento de agua en un recipiente graduado.

$$\delta_v = M_v / V_v$$

donde:

δ_v : Densidad verde de la madera

M_v : Masa verde de la rodela

V_v : Volumen verde de la rodela

A continuación se obtuvo la masa verde de cada sección fustal a partir del volumen y la densidad verde de cada sección. El volumen total de cada sección fue calculado a partir de la longitud de cada sección fustal y de los diámetros de las rodelas de los extremos de cada sección,

asumiendo la forma de un paraboloides (Fórmula de Smalian) (Husch et al., 1972).

$$M_i = V_i \times ((\delta_{ib} + \delta_{is}) / 2), \text{ para las secciones centrales}$$

donde:

M_i : Masa verde de la i-ésima sección fustal

V_i : Volumen de la i-ésima sección fustal

δ_{ib} : Densidad verde de la rodela en la base de la i-ésima sección fustal

δ_{is} : Densidad verde de la rodela en el extremo de la i-ésima sección fustal

En el sector del tocón se asumió $\delta_{ib} = \delta_{is}$; en tanto que en el ápice se asumió $\delta_{ib} = \delta_z$, donde:

δ_z : Densidad verde de la rodela extraída a mayor altura del fuste

Luego, se obtuvo la fracción de masa seca para madera y corteza por rodela a partir de las variables respectivas.

$$Fms_i = Msm_i / Mvt_i$$

$$Fcs_i = Msc_i / Mvt_i$$

donde:

Fms_i : Fracción de madera seca de la rodela i

Fcs_i : Fracción de corteza seca de la rodela i

Msm_i : Masa seca de madera de la rodela i

Msc_i : Masa seca de corteza de la rodela i

Mvt_i : Masa verde total (madera + corteza) de la rodela i

Finalmente se estimó la masa seca fustal de madera y corteza por árbol, a partir de las fracciones promedio por sección fustal.

$$MSM = \sum_{i=1}^n Fms_i \times M_i$$

$$MSC = \sum_{i=1}^n Fcs_i \times M_i$$

$$Fms_i = (Fms_{ib} + Fms_{is})/2$$

$$Fcs_i = (Fcs_{ib} + Fcs_{is})/2$$

donde:

Fms_i : Fracción de madera seca promedio de la sección i

Fcs_i : Fracción de corteza seca promedio de la sección i

MSM : Masa seca de madera fustal del árbol

MSC : Masa seca de corteza fustal del árbol

M_i : Masa verde total (madera + corteza) de la i -ésima sección del fuste

n : Número de secciones en el fuste

2.7 Estimación de la masa seca de la copa.

La masa seca de la copa se obtuvo a partir de las fracciones promedio de masa seca por componente y sección. El promedio de cada fracción se obtuvo de las tres ramas seleccionadas de cada sección.

$$MST = \sum_{i=1}^k Fts_i \times M_i$$

$$Fts_i = \sum_{j=1}^{nr} Fts_j / nr$$

$$MSR = \sum_{i=1}^k Frs_i \times M_i$$

$$Frs_i = \sum_{j=1}^{nr} Frs_j / nr$$

$$MSA = \sum_{i=1}^k Fas_i \times M_i$$

$$Fas_i = \sum_{j=1}^{nr} Fas_j / nr$$

$$Fts_j = Mst_j / Mvt_j$$

$$Frs_j = Msr_j / Mvt_j$$

$$Fas_j = Msa_j / Mvt_j$$

donde:

MST: Masa seca de madera de la copa del árbol

MSR: Masa seca de ramillas de la copa del árbol

MSA: Masa seca de acículas de la copa del árbol

M_i: Masa verde total (tronco + ramillas + acículas) de la sección de copa *i*

k: Número de secciones de la copa

Fts_i: Fracción promedio de madera seca de rama de la sección *i* de la copa

Frs_i: Fracción promedio de ramillas secas de la sección *i* de la copa

Fas_i: Fracción promedio de acículas secas de la sección *i* de la copa

nr: Número de ramas muestreadas en la sección *i* de la copa

Fts_j: Fracción de madera seca de la rama *j*

Frs_j: Fracción de ramillas secas de la rama *j*

Fas_j: Fracción de acículas secas de la rama *j*

Mst_j : Masa seca de madera de la rama j

Msr_j : Masa seca de ramillas de la rama j

Msa_j : Masa seca de acículas de la rama j

Mvt_j : Masa verde total (madera + ramillas + acículas) de la rama j

2.8 Análisis de los datos.

Con la información recopilada se determinó la participación porcentual de cada componente respecto a la biomasa total del árbol. Se analizó la distribución de la masa seca de madera y corteza en el fuste y la variación con la altura relativa. Se realizó comparaciones de los valores de biomasa entre clases de copa, asumiendo un diseño completamente aleatorio (Canovos, 1988).

Posteriormente se procedió al ajuste de relaciones entre la biomasa por componente (madera, corteza, ramas, ramillas y acículas) y variables obtenidas en terreno como diámetro a la altura del pecho, altura total, longitud de copa viva, diámetro en la base de la copa viva y diámetro a la altura del tocón. Para seleccionar la mejor función se consideraron los valores del Coeficiente de determinación ajustado (R^2), Prueba F y el Error estándar de estimación (EEE). Cada variable debía aportar al menos un cinco por ciento de la variación.

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Dimensiones medias de los árboles.

Los árboles dominantes son significativamente mayores en dap, espesor de corteza, área basal, altura y volumen que los árboles codominantes e intermedios. Sólo en el espesor de corteza y altura total no presentan diferencia significativa con los árboles codominantes y en longitud de copa viva con los árboles codominantes e intermedios (Tabla 2).

Los árboles codominantes ocupan el segundo lugar entre clases de copa en la mayoría de las variables medidas, siendo la excepción la clase de forma de Girard y la razón de copa viva. En casi todas las variables, los valores promedio de esta clase de copa estuvieron más cerca de los valores promedio de la clase de copa dominante que de los intermedios, a excepción de la longitud de copa viva (Tabla 2).

Consecuente con su posición subordinada en el dosel de copas, los árboles intermedios presentan la mayor razón altura/dap (coeficiente de esbeltez) y la menor razón de copa viva. Además poseían copas significativamente más estrechas que los árboles dominantes (Tablas 4 A, 5 A y 6 A).

TABLA 2. Características medias de los árboles muestra.

| Característica | Clase de copa | | |
|----------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| | Intermedio (n=4) | Codominante (n=4) | Dominante (n=4) |
| Diámetro(cm): | | | |
| Tocón | 43,50 (3,42) a | 55,30 (2,57) b | 77,03 (0,75) c |
| (rango) | 32,62 - 54,38 | 47,12 - 63,48 | 74,63 - 79,43 |
| DAP (c.c.) | 35,38 (2,56) a | 48,65 (2,34) b | 61,55 (1,85) c |
| (rango) | 27,23 - 43,53 | 41,22 - 56,08 | 55,67 - 67,43 |
| DAP (s.c.) | 30,38 (2,51) a | 42,33 (2,30) b | 54,05 (1,82) c |
| (rango) | 22,40 - 38,36 | 35,00 - 49,66 | 48,26 - 59,84 |
| Espesor corteza(cm) | 2,50 (0,04) a | 3,13 (0,43) ab | 3,75 (0,13) b |
| Area basal m ² | 0,100 (0,014) a | 0,188 (0,018) b | 0,299 (0,018) c |
| Altura(m): | | | |
| Total árbol | 37,18 (2,32) a | 45,00 (0,64) b | 49,8 (1,41) b |
| (rango) | 29,81 - 44,55 | 42,96 - 47,04 | 45,32 - 54,28 |
| Longitud copa | 12,98 (3,35) a | 14,98 (1,64) a | 20,55 (1,93) a |
| (rango) | 2,33 - 23,63 | 9,77 - 20,19 | 14,41 - 26,69 |
| Volumen (m ³): | | | |
| Total fuste | 1,6028(0,2955) a | 3,3980(0,2939)b * | 5,5513(0,3372)c |
| dlu 10 cm | 1,5907(0,2978) a | 3,3791(0,2907)b * | 5,5362(0,3372)c |
| dlu 20 cm | 1,3481(0,3226) a | 3,2288(0,3062)b * | 5,4465(0,3572)c |
| Clase forma Girard | 78,50 (0,72) a | 77,92 (0,32) a * | 79,53 (1,19) a |
| Razones: | | | |
| Altura/dap (c.c.) | 1,06 (0,043) a | 0,93 (0,037) ab | 0,81 (0,046) b |
| Long.copa/altura | 0,34 (0,07) a | 0,33 (0,04) a | 0,42 (0,05) a |

Error estándar de la media en (). Letras diferentes indican que existe diferencia significativa entre los árboles muestra ($p < 0,05$, Test Tukey).

n es el tamaño de la muestra.

* Considera sólo tres árboles.

3.2 Análisis de volumen y de la biomasa total y por componente.

El volumen promedio por hectárea en árboles dominantes asciende a 457,98 m³, en árboles codominantes 390,60 m³ y 188,33 m³ en árboles intermedios. El volumen total por hectárea es 1.036,91 m³, de los cuales 1.032,24 m³ corresponden a volumen hasta dlu 10 cm y 979,05 m³ a volumen hasta dlu 20 cm.

La biomasa total promedio por árbol dominante (Tabla 3) alcanzó a 2.090,4 kg lo que equivale a 1,5 veces la biomasa de los árboles codominantes (1.387,9 kg) que a su vez poseen 2,2 veces la biomasa de los árboles intermedios (627,3 kg). Los árboles dominantes tienen en promedio 3,3 veces más biomasa que los árboles intermedios.

La biomasa total por hectárea en los árboles dominantes alcanzó a 172,4 toneladas; en tanto que en árboles codominantes alcanzó a 159,4 toneladas y 73,7 toneladas en árboles intermedios. En suma las tres clases de copa totalizan 405,5 toneladas por hectárea (Tabla 4).

El incremento medio anual (IMA) de biomasa por hectárea es menor al determinado por Baldini (1994) para un rodal de Pinus radiata de 52 años y el IMA de volumen por hectárea del rodal en estudio es igual al determinado por Baldini (Tabla 5). Esto indica que el rodal en estudio era más productivo que el analizado por Baldini, ya que alcanzó antes la culminación del IMA de ambas variables (biomasa y

TABLA 3. Biomasa promedio (kg/árbol) y participación de cada componente (%) por clase de copa.

| Componente | Clase de copa | | | | | | | | |
|---------------|---------------|----------|-------------|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|
| | Intermedio | | Codominante | | Dominante | | | | |
| | (kg) | (%) | (kg) | (%) | (kg) | (%) | | | |
| Madera fuste | 549,90 | a (62,3) | 87,67 | 1224,53 | b (83,5) | 88,23 | 1880,45 | c (161,5) | 89,96 |
| Corteza fuste | 62,45 | a (3,4) | 9,96 | 129,60 | b (15,6) | 9,34 | 132,06 | b (10,8) | 6,32 |
| Total fuste | 612,35 | a (63,9) | 97,60 | 1354,13 | b (93,9) | 97,57 | 2012,51 | b (171,3) | 96,28 |
| Acículas | 5,15 | a (1,8) | 0,82 | 9,47 | ab (1,8) | 0,68 | 18,08 | b (2,5) | 0,86 |
| Ramillas | 3,93 | a (1,5) | 0,63 | 8,28 | a (1,3) | 0,60 | 15,37 | b (1,5) | 0,74 |
| Ramas | 5,85 | a (1,9) | 0,93 | 14,10 | b (2,6) | 1,02 | 44,39 | c (6,7) | 2,12 |
| Total copa* | 83,55 | a (45,5) | 13,32 | 118,58 | a (31,8) | 8,54 | 310,34 | a (81,0) | 14,85 |
| Total árbol** | 627,28 | a (68,4) | | 1387,95 | b (99,4) | | 2090,35 | c (178,4) | |

* La masa seca total de la copa incluye la sección del fuste de la copa.

** Masa seca total del árbol sobre el suelo.

Error estándar de la media en (). Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre las medias de un mismo componente ($p < 0,05$. Test Tukey).

% es el porcentaje de participación del componente respecto al total del árbol sobre el suelo.

TABLA 4. Biomasa de cada componente por hectárea (t/ha) y participación porcentual de cada componente por clase de copa respecto al total por hectárea.

| Componente | Clase de copa | | | | Total hectárea | | |
|----------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------|
| | Intermedio | | Codominante | | Dominante | | |
| | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) | |
| Madera fuste | 64,614 a (7,3250) | 17,92 | 140,821 b (9,6041) | 39,05 | 155,137 b (13,3240) | 43,03 | 360,572 88,91 |
| Corteza fuste | 7,337 a (0,3956) | 22,14 | 14,904 b (1,7894) | 44,98 | 10,895 b (0,8915) | 32,88 | 33,136 8,17 |
| Total fuste | 71,951 a (7,5095) | 18,28 | 155,725 b (10,7951) | 39,55 | 166,032 b (14,1308) | 42,17 | 393,708 97,08 |
| Acículas | 0,605 a (0,2110) | 18,99 | 1,090 ab(0,2056) | 34,21 | 1,491 b (0,2063) | 46,80 | 3,186 0,79 |
| Ramillas | 0,462 a (0,1756) | 17,22 | 0,953 ab(0,1459) | 35,52 | 1,268 b (0,1205) | 47,26 | 2,683 0,66 |
| Ramas | 0,687 a (0,2274) | 11,51 | 1,621 b (0,2237) | 27,15 | 3,662 c (0,5503) | 61,34 | 5,970 1,47 |
| Total copa* | 9,817 a (5,3446) | 20,01 | 13,636 a (3,6523) | 27,80 | 25,603 a (6,6792) | 52,19 | 49,056 12,10 |
| Total árbol** | 73,705 a (8,0313) | 18,17 | 159,389 b (11,4285) | 39,30 | 172,454 a (14,7211) | 42,52 | 405,548 |

* La masa seca total de la copa incluye la sección del fuste de la copa.

** Masa seca total del árbol sobre el suelo.

Error estándar de la media en (). Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre las medias de un mismo componente (p<0,05, Test Tukey).

‡1 es el porcentaje de participación del componente por clase de copa respecto al total por hectárea

‡2 es el porcentaje de participación del componente respecto al total del árbol sobre el suelo.

TABLA 5. Comparación de la biomasa por componente en rodales de Pinus radiata D.Don de distintas edades y localidades.

| Lugar | Especie | Edad (años) | Arb/ha (n°) | Alt. (m) | Volumen (m ³ /ha) | IMA Vol. (m ³) | IMA Biom. (t) | Biomasa (t/ha) | | | | |
|-------------|----------------|-------------|-------------|----------|------------------------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------|------------|----------|----------|
| | | | | | | | | Madera | Corteza | Ramas | Ramillas | Acículas |
| Concepción | P. radiata (1) | 52 | 564 | 41 | 1283 | 24,7 | 14,4 | 650,6 (87%) | 69,2 (9%) | 12,6 (2%) | 7,4 (1%) | 8,3 (1%) |
| Sta Bárbara | P. radiata (2) | 18 | 236 | 31 | 370 | 20,6 | 5,0 | 63,0 (71%) | 5,2 (6%) | 14,8 (17%) | 2,2 (2%) | 3,9 (4%) |
| Concepción | P. radiata (3) | 42 | 315 | 43 | 1037 | 24,7 | 9,7 | 360,6 (89%) | 33,8 (8%) | 6,0 (1%) | 2,7 (1%) | 3,2 (1%) |

(1) Según Baldini (1994). (2) Según Iturria (1997). (3) Este estudio.



volumen) lo que es propio de sitios de mejor calidad (Assman, 1970).

Para las tres clases de copa, la madera aporta en promedio 88,91% de la biomasa total sobre el suelo, la corteza 8,17%, ramas 1,47%, acículas 0,79% y ramillas 0,66% (Tabla 4).

En las tres clases de copa, la madera concentra alrededor del 90% de la biomasa total sobre el suelo. Las diferencias porcentuales entre clases de copa son mínimas y no significativas (Tabla 3).

En tanto que los árboles dominantes son los que aportan un mayor porcentaje de madera por hectárea debido al mayor número de árboles de ésta clase de copa. En suma las tres clases de copa aportan 360,6 toneladas por hectárea lo que equivale al 88,9% de la biomasa total por hectárea (Tabla 4).

Los árboles dominantes presentan menor porcentaje de corteza (6,32%), que los árboles codominantes (9,34%) e intermedios (9,96%) (Tabla 3).

Los árboles codominantes presentan mayor porcentaje de masa seca de corteza por hectárea (44,98%) que los árboles dominantes (32,9%) e intermedios (22,1%) (Tabla 4).

Los árboles dominantes que al encontrarse en la parte alta del dosel de copas reciben mayor radiación solar (Donoso,

1990) son los que poseen ramas de mayor largo y diámetro (Tabla 1 A). Esto incide en los valores de biomasa de la copa, siendo un factor determinante en las diferencias que existen entre clases de copa así como en el número de ramas que se estimó mayor en árboles dominantes (Tabla 1 A).

En efecto, las ramas de los árboles dominantes representan el mayor porcentaje respecto de la biomasa total (2,12%) en comparación a los árboles codominantes (1,02%) e intermedios (0,93%) (Tabla 3). Además, los árboles dominantes aportaron el mayor porcentaje de masa seca de ramas por hectárea, representando el 61,3% de la masa seca total, seguido de los árboles codominantes (27,2%) y los árboles intermedios (11,5%) (Tabla 4).

Las ramillas son el componente que menos aporta a la biomasa total sobre el suelo, con porcentajes que no superan el 1% para las tres clases de copa. La masa seca de ramillas por hectárea de los árboles dominantes alcanza a 1,27 toneladas (47,26% del total por hectárea del rodal), cifra que es significativamente superior a la de árboles codominantes (0,95 t - 35,52%) e intermedios (0,46 t - 17,22%) (Tabla 4).

Por su parte, las acículas también representan menos del 1% de la biomasa total sobre el suelo, en las tres clases de copa. Este porcentaje es similar al encontrado por Baldini (1994) en un rodal de Pinus radiata de 52 años. En cambio Iturria (1997), determinó para un rodal de Pinus radiata de 18 años que las acículas representan alrededor del 4% de la

biomasa total sobre el suelo (Tabla 5), lo que indica que la participación de las acículas varía según la etapa de crecimiento en que se encuentre el árbol.

Los árboles dominantes representan el mayor porcentaje de masa seca de acículas por hectárea (46,80%), por sobre los árboles codominantes (34,21%) e intermedios (18,99%) (Tabla 4).

3.3 Distribución de la masa seca del fuste según altura relativa en el árbol.

El 80,2% de la masa seca total de madera se concentra en la primera mitad del fuste (Figura 4). Los árboles dominantes concentran un porcentaje de masa seca levemente superior a las otras clases de copa, pero en general el comportamiento es muy similar en las tres clases de copa (Tabla 10 A).

En todas las clases de copa más del 60% de la masa seca total de corteza se concentra en la base del árbol (25% de la altura total) (Tabla 10 A). Sin embargo, los árboles intermedios poseen un mayor porcentaje de masa seca a una misma altura relativa hasta aproximadamente un tercio de la altura total (Figura 4). Desde la mitad del árbol hacia el ápice aumenta en forma gradual y la curva tiende a estabilizarse. Similar comportamiento presentan el espesor de corteza y la razón de corteza seca; estos son mayores en las primeras secciones del fuste para luego estabilizarse.

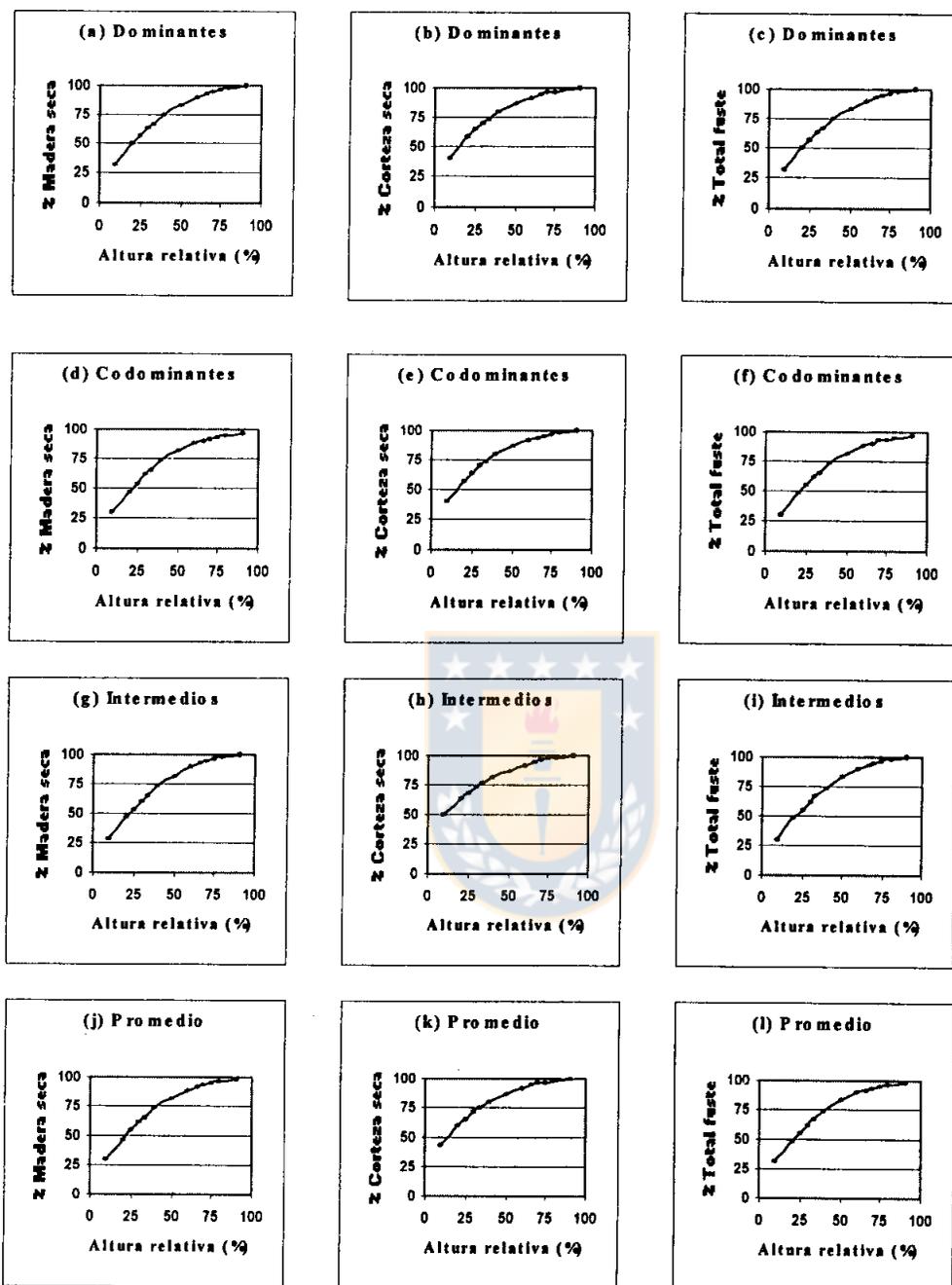


FIGURA 4. Distribución de masa seca de madera, corteza y total según altura relativa por clase de copa (Valores estimados).

En general, las tres clases de copa concentran más del 50% de la masa seca total del fuste en el primer cuarto de su altura total, más del 80% en la primera mitad y más del 90% en el tercer cuarto (Tabla 10 A; Figura 4).

La masa seca total promedio en las tres clases de copa de madera, corteza y total fuste se concentra principalmente en la primera mitad (82,24%, 87,08% y 82,60% respectivamente) (Tabla 10 A; Figura 4).

3.4 Fracciones de masa seca y espesor de corteza del fuste.

La fracción de madera seca (*Fms*) en los árboles dominantes permanece casi constante a lo largo del fuste (Figura 5; Tabla 6), lo que indica que la proporción de madera respecto al total del fuste es casi constante a lo largo de éste.

En los árboles codominantes la *Fms* disminuye a medida que aumenta la altura, pero este descenso es mayor que en los árboles dominantes (Figura 5; Tabla 7).

La *Fms* en los árboles intermedios es más estable, casi constante hasta la primera mitad del árbol, tras lo cual muestra una leve disminución (Figura 5; Tabla 8). Esto coincide con el comportamiento que muestran los valores de contenido de humedad en árboles intermedios, los que están directamente relacionados con la *Fms* (Tabla 9 A).

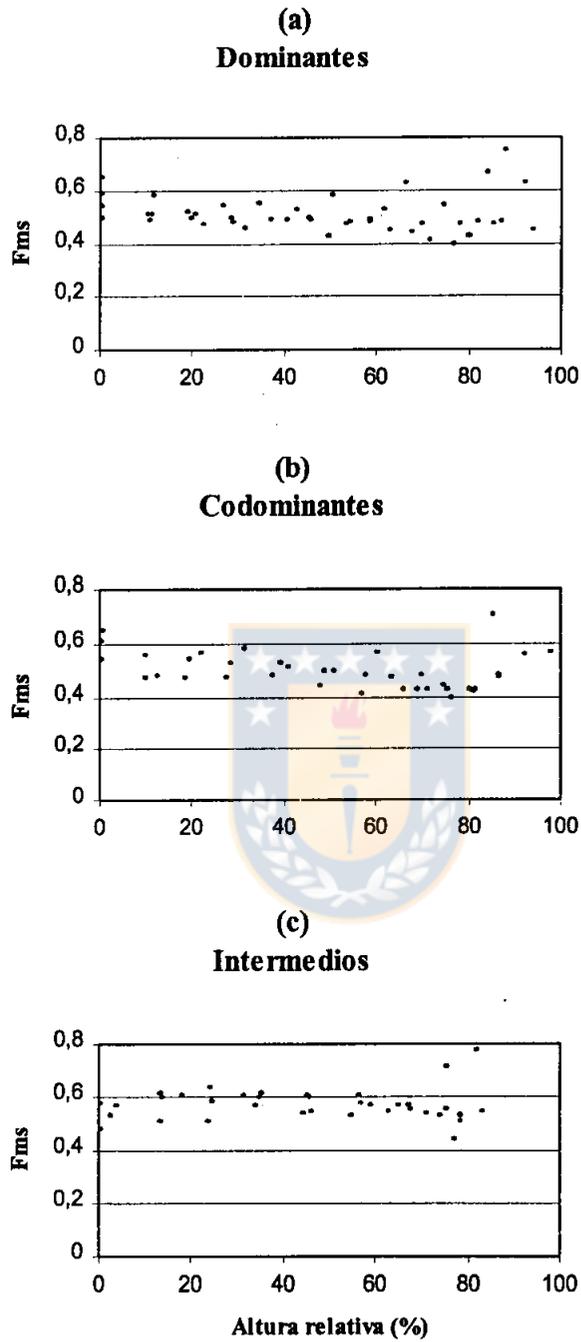


FIGURA 5. Fracción de madera seca (*Fms*) según altura relativa por clase de copa.

TABLA 6. Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (Fms) y de la fracción de corteza seca (Fcs) con la altura relativa (%) en árboles dominantes.

| Alt.relativeva | Espesor corteza | Fms | Fcs |
|----------------|-----------------|------|-------|
| 0,47 | 45 | 0,59 | 0,058 |
| 0,54 | 40 | 0,65 | 0,045 |
| 0,55 | 58 | 0,54 | 0,072 |
| 0,64 | 50 | 0,50 | 0,043 |
| 10,38 | 14 | 0,51 | 0,048 |
| 10,95 | 10 | 0,49 | 0,035 |
| 11,13 | 17 | 0,51 | 0,038 |
| 11,51 | 9 | 0,58 | 0,040 |
| 18,86 | 7 | 0,52 | 0,040 |
| 19,77 | 8 | 0,50 | 0,039 |
| 20,87 | 6 | 0,51 | 0,033 |
| 22,56 | 5 | 0,47 | 0,026 |
| 26,66 | 8 | 0,54 | 0,023 |
| 28,43 | 8 | 0,50 | 0,035 |
| 29,07 | 6 | 0,48 | 0,027 |
| 31,57 | 7 | 0,46 | 0,027 |
| 34,59 | 5 | 0,55 | 0,038 |
| 37,09 | 7 | 0,49 | 0,036 |
| 37,26 | 6 | 0,49 | 0,029 |
| 40,56 | 6 | 0,49 | 0,027 |
| 42,56 | 5 | 0,53 | 0,029 |
| 45,42 | 6 | 0,50 | 0,026 |
| 45,73 | 6 | 0,49 | 0,034 |
| 49,57 | 4 | 0,43 | 0,025 |
| 50,55 | 5 | 0,58 | 0,024 |
| 53,57 | 5 | 0,47 | 0,027 |
| 54,37 | 6 | 0,48 | 0,025 |
| 58,50 | 4 | 0,48 | 0,029 |
| 58,54 | 4 | 0,49 | 0,028 |
| 61,71 | 3 | 0,53 | 0,023 |
| 63,01 | 4 | 0,45 | 0,024 |
| 66,45 | 4 | 0,63 | 0,023 |
| 67,53 | 4 | 0,44 | 0,029 |
| 69,84 | 3 | 0,47 | 0,018 |
| 71,65 | 4 | 0,41 | 0,030 |
| 74,40 | 4 | 0,54 | 0,020 |
| 76,52 | 4 | 0,40 | 0,029 |
| 77,98 | 2 | 0,47 | 0,023 |
| 79,56 | 3 | 0,43 | 0,027 |
| 80,29 | 4 | 0,43 | 0,027 |
| 81,83 | 4 | 0,48 | 0,030 |
| 84,23 | 1 | 0,67 | 0,059 |
| 85,38 | 2 | 0,47 | 0,036 |
| 87,12 | 3 | 0,48 | 0,029 |
| 88,08 | 1 | 0,75 | 0,051 |
| 92,41 | 1,5 | 0,63 | 0,031 |
| 93,98 | 1,5 | 0,45 | 0,034 |

TABLA 7. Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (Fms) y de la fracción de corteza seca (Fcs) con la altura relativa (%) en árboles codominantes.

| Alt.relative | Espesor corteza | Fms | Fcs |
|--------------|-----------------|------|-------|
| 0,53 | 45 | 0,54 | 0,129 |
| 0,62 | 39 | 0,61 | 0,101 |
| 0,73 | 48 | 0,65 | 0,069 |
| 9,70 | 12 | 0,47 | 0,045 |
| 9,94 | 18 | 0,56 | 0,081 |
| 12,29 | 15 | 0,48 | 0,046 |
| 18,64 | 8 | 0,47 | 0,039 |
| 19,29 | 11 | 0,54 | 0,071 |
| 21,87 | 3 | 0,57 | 0,045 |
| 27,68 | 6 | 0,47 | 0,036 |
| 28,65 | 10 | 0,53 | 0,060 |
| 31,47 | 4 | 0,58 | 0,045 |
| 37,39 | 5 | 0,48 | 0,033 |
| 39,18 | 6 | 0,53 | 0,061 |
| 41,07 | 5 | 0,51 | 0,045 |
| 47,86 | 4 | 0,44 | 0,031 |
| 48,52 | 6 | 0,50 | 0,055 |
| 50,65 | 3 | 0,50 | 0,044 |
| 56,83 | 6 | 0,41 | 0,031 |
| 57,86 | 6 | 0,48 | 0,053 |
| 60,26 | 3 | 0,57 | 0,045 |
| 63,43 | 5 | 0,47 | 0,062 |
| 65,77 | 4 | 0,43 | 0,031 |
| 68,94 | 5 | 0,43 | 0,056 |
| 69,84 | 5 | 0,48 | 0,035 |
| 71,04 | 4 | 0,43 | 0,037 |
| 74,46 | 3 | 0,44 | 0,054 |
| 75,50 | 3 | 0,43 | 0,039 |
| 76,33 | 3,5 | 0,40 | 0,031 |
| 79,98 | 3 | 0,43 | 0,053 |
| 81,16 | 2 | 0,42 | 0,044 |
| 81,61 | 3,5 | 0,43 | 0,034 |
| 85,47 | 2,5 | 0,71 | 0,084 |
| 86,73 | 3 | 0,48 | 0,032 |
| 86,80 | 2 | 0,47 | 0,042 |
| 92,44 | 2 | 0,56 | 0,047 |
| 97,71 | 1,5 | 0,57 | 0,077 |

TABLA 8. Variación del espesor de corteza (mm), de la fracción de madera seca (Fms) y de la fracción de corteza seca (Fcs) con la altura relativa (%) en árboles intermedios.

| Alt.relative | Espesor corteza | Fms | Fcs |
|--------------|-----------------|------|-------|
| 0,59 | 32 | 0,48 | 0,093 |
| 0,62 | 30 | 0,58 | 0,124 |
| 2,70 | 43 | 0,53 | 0,137 |
| 4,06 | 20 | 0,57 | 0,189 |
| 13,31 | 10 | 0,51 | 0,047 |
| 13,42 | 10 | 0,62 | 0,045 |
| 13,80 | 8 | 0,60 | 0,056 |
| 17,89 | 10 | 0,61 | 0,058 |
| 23,65 | 4 | 0,51 | 0,035 |
| 24,15 | 2 | 0,64 | 0,040 |
| 24,58 | 7 | 0,59 | 0,049 |
| 31,65 | 3 | 0,61 | 0,058 |
| 34,00 | 4 | 0,57 | 0,035 |
| 35,01 | 2 | 0,60 | 0,036 |
| 35,35 | 6 | 0,62 | 0,057 |
| 44,35 | 4 | 0,54 | 0,028 |
| 45,45 | 3 | 0,61 | 0,055 |
| 45,74 | 1,5 | 0,60 | 0,035 |
| 46,09 | 4 | 0,55 | 0,051 |
| 54,67 | 3 | 0,53 | 0,031 |
| 56,47 | 1,5 | 0,61 | 0,034 |
| 56,86 | 3 | 0,58 | 0,062 |
| 59,21 | 2 | 0,57 | 0,060 |
| 62,78 | 1 | 0,55 | 0,035 |
| 64,99 | 2 | 0,57 | 0,039 |
| 67,36 | 2 | 0,57 | 0,061 |
| 67,61 | 3 | 0,56 | 0,066 |
| 71,09 | 2 | 0,54 | 0,038 |
| 74,32 | 2 | 0,53 | 0,036 |
| 75,41 | 1 | 0,72 | 0,044 |
| 75,48 | 1,5 | 0,56 | 0,054 |
| 77,19 | 2 | 0,44 | 0,040 |
| 78,35 | 2 | 0,51 | 0,051 |
| 78,35 | 1 | 0,53 | 0,059 |
| 81,72 | 1 | 0,78 | 0,040 |
| 83,28 | 2 | 0,55 | 0,036 |
| 84,70 | 2 | 0,51 | 0,094 |
| 85,37 | 1 | 0,59 | 0,041 |
| 87,90 | 1,5 | 0,49 | 0,037 |
| 87,92 | 2 | 0,56 | 0,103 |
| 88,18 | 2 | 0,73 | 0,055 |

La fracción de corteza seca (*Fcs*) en los árboles dominantes disminuye a medida que aumenta la altura en el fuste, siendo esta disminución mayor en las primeras secciones (Figura 6; Tabla 6).

La *Fcs* de los árboles codominantes disminuye en las secciones basales para luego estabilizarse, con valores que oscilan dentro de un rango (Figura 6; Tabla 7). Esto coincide con algunos valores de espesor de corteza que muestran el mismo comportamiento (Figura 7) lo que señala la relación que hay entre estas dos variables.

La *Fcs* en los árboles intermedios (Figura 6; Tabla 8) disminuye en las secciones basales, disminución que es mayor que en las otras clases de copa, coincidiendo con las diferencias en el espesor de corteza que en algunos casos llegó a ser de 20 veces en un mismo árbol (Figura 7; Tabla 8). Luego hay una estabilización que en algunos casos mostró un suave ascenso en las fracciones desde aproximadamente el 60% de la altura total hacia el ápice.

El espesor de corteza en árboles dominantes tiene un comportamiento similar a la *Fcs*, presentando altos valores en la base del fuste pero a medida que aumenta la altura el espesor disminuye considerablemente (Figura 7; Tabla 6).

3.5 Fracciones de masa seca de la copa.

En general, la fracción de madera seca de ramas (*Fts*) de los árboles dominantes (Tabla 9), es mayor que la fracción

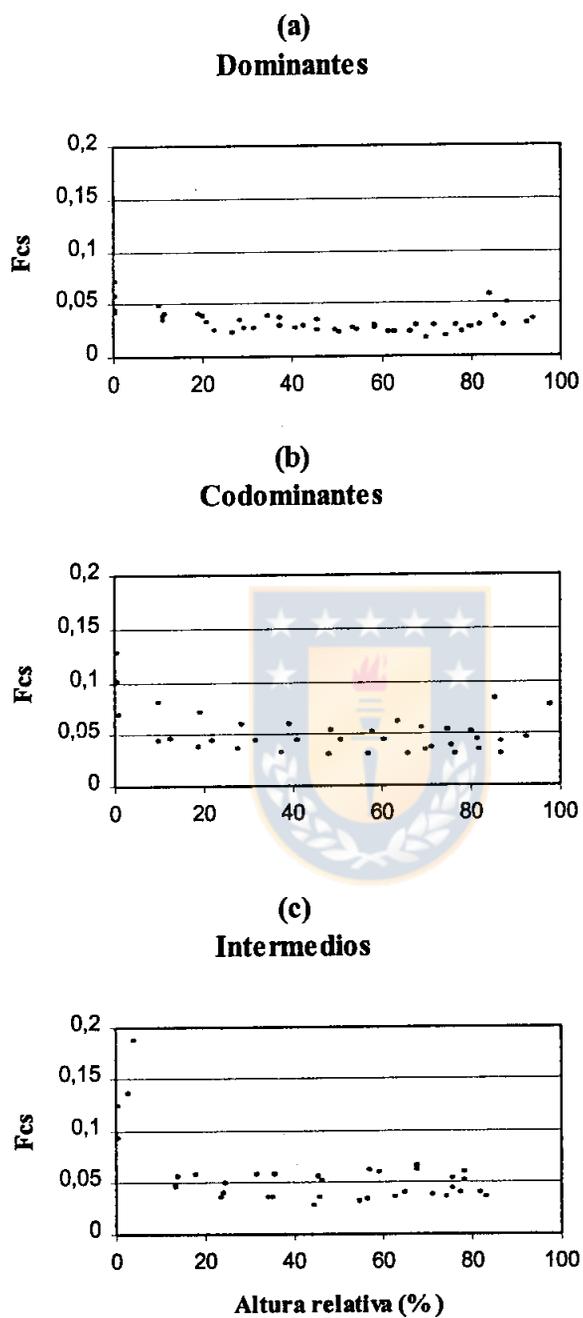


FIGURA 6. Fracción de corteza seca (*Fcs*) según altura relativa por clase de copa.

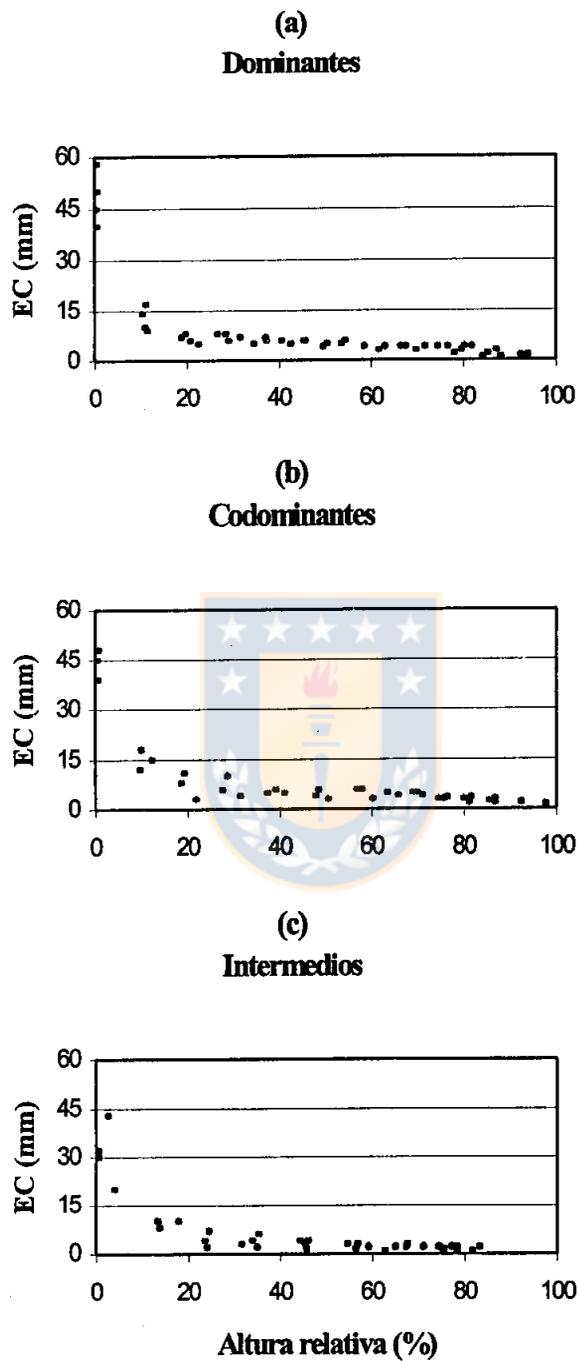


FIGURA 7. Espesor de corteza (EC) según altura relativa por clase de copa.

TABLA 9. Fracciones de masa seca de la copa.

| Dominantes | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|----------|------|------|------|
| Arbol 1 | | | | Arbol 3 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,17 | 0,08 | 0,07 | A | 0,09 | 0,05 | 0,09 |
| B | 0,12 | 0,06 | 0,07 | B | 0,14 | 0,06 | 0,09 |
| C | 0,11 | 0,07 | 0,08 | C | 0,15 | 0,07 | 0,07 |
| D | 0,10 | 0,03 | 0,10 | D | 0,16 | 0,03 | 0,06 |
| Arbol 6 | | | | Arbol 11 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,24 | 0,05 | 0,03 | A | 0,08 | 0,07 | 0,10 |
| B | 0,17 | 0,08 | 0,05 | B | 0,19 | 0,04 | 0,03 |
| C | 0,18 | 0,03 | 0,04 | C | 0,18 | 0,04 | 0,04 |
| D | 0,19 | 0,03 | 0,05 | D | 0,15 | 0,08 | 0,07 |
| Codominantes | | | | | | | |
| Arbol 2 | | | | Arbol 5 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,17 | 0,06 | 0,05 | A | 0,14 | 0,10 | 0,06 |
| B | 0,08 | 0,08 | 0,08 | B | 0,16 | 0,06 | 0,05 |
| C | 0,08 | 0,07 | 0,09 | C | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| D | 0,08 | 0,04 | 0,10 | D | 0,12 | 0,06 | 0,06 |
| Arbol 7 | | | | Arbol 9 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,08 | 0,10 | 0,08 | A | 0,10 | 0,07 | 0,09 |
| B | 0,13 | 0,07 | 0,06 | B | 0,13 | 0,06 | 0,08 |
| C | 0,17 | 0,08 | 0,06 | C | 0,10 | 0,07 | 0,10 |
| D | 0,08 | 0,03 | 0,10 | D | 0,13 | 0,06 | 0,08 |
| Intermedios | | | | | | | |
| Arbol 4 | | | | Arbol 8 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,10 | 0,10 | 0,08 | A | 0,08 | 0,06 | 0,10 |
| B | 0,10 | 0,09 | 0,09 | B | 0,10 | 0,07 | 0,10 |
| C | 0,09 | 0,07 | 0,08 | C | 0,10 | 0,07 | 0,14 |
| D | 0,10 | 0,05 | 0,10 | D | 0,15 | 0,07 | 0,08 |
| Arbol 10 | | | | Arbol 12 | | | |
| Sección | Ftsi | Frsi | Fasi | Sección | Ftsi | Frsi | Fasi |
| A | 0,06 | 0,05 | 0,11 | A | 0,03 | 0,04 | 0,15 |
| B | 0,26 | 0,06 | 0,05 | B | 0,07 | 0,03 | 0,12 |
| C | 0,08 | 0,09 | 0,09 | C | 0,08 | 0,07 | 0,12 |
| D | 0,20 | 0,06 | 0,06 | D | 0,11 | 0,09 | 0,08 |

A: Base de la copa. D: Sección apical.

B y C: Secciones intermedias.

TABLA 9. Fracciones de masa seca de la copa (continuación)

Promedio por clase de copa

| Dominantes | | | |
|------------|------|------|------|
| Sección | Fts | Frs | Fas |
| A | 0,15 | 0,06 | 0,07 |
| B | 0,16 | 0,06 | 0,06 |
| C | 0,16 | 0,05 | 0,06 |
| D | 0,15 | 0,04 | 0,07 |

| Codominantes | | | |
|--------------|------|------|------|
| Sección | Fts | Frs | Fas |
| A | 0,12 | 0,08 | 0,07 |
| B | 0,13 | 0,07 | 0,07 |
| C | 0,11 | 0,08 | 0,08 |
| D | 0,10 | 0,05 | 0,09 |

| Intermedios | | | |
|-------------|------|------|------|
| Sección | Fts | Frs | Fas |
| A | 0,07 | 0,06 | 0,11 |
| B | 0,13 | 0,06 | 0,09 |
| C | 0,09 | 0,08 | 0,11 |
| D | 0,14 | 0,07 | 0,08 |

A: Base de la copa. D: Sección apical
B y C: Secciones intermedias.

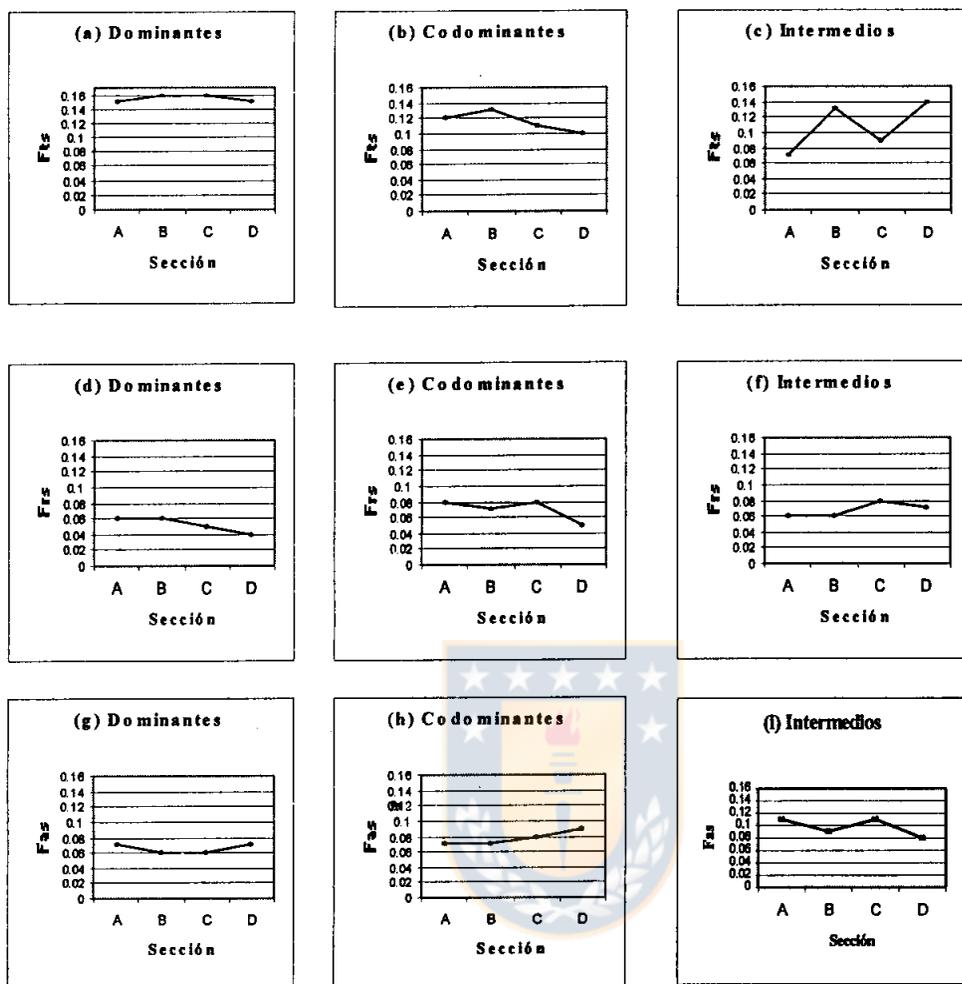
de ramillas secas (*Frs*) y de acículas secas (*Fas*). La masa seca de ramas es el tercer componente de la biomasa arbórea sobre el suelo, después de la madera y la corteza del fuste.

Sólo en algunos casos, la *Fts* es menor a la *Frs* o la *Fas*, principalmente en las secciones superiores de algunos árboles codominantes e intermedios (Tabla 9), donde las ramas no son de gran dimensión (Tablas 2 A y 3 A) y porcentualmente predominan las acículas o las ramillas. Sin embargo, no existe una tendencia definida para el comportamiento de la *Fts* a lo largo de la copa.

Los árboles de mayor copa entre los árboles dominantes, presentan mayor *Fts* y la *Frs* es mayor a la *Fas* cuando lo normal en la mayoría de los árboles es que la *Fas* sea mayor a la *Frs* (Tabla 9).

Existe una relación inversamente proporcional entre la *Fts* y la *Fas* (Figura 8), lo que se debe a que en un árbol de mayor copa la participación porcentual de las acículas disminuye producto del aumento de las dimensiones de las ramas principalmente en los árboles dominantes (Tabla 1 A) que son los que reciben mayor cantidad de luz (Smith, 1986).

En los árboles codominantes el comportamiento de la fracción de madera seca de ramas no está bien definido. La *Fts* es en promedio menor que la de los árboles dominantes y



A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

FIGURA 8. Fracciones de masa seca de la copa por componente, sección y clase de copa.

el mayor valor promedio de *Fts*, se encuentra en la segunda sección (desde la base de la copa hacia el ápice). La *Fas* sólo supera a la *Frs* en la sección apical de la copa, y al igual que en los árboles dominantes es inversamente proporcional a la *Fts* (Figura 8).

En los árboles intermedios la *Fts* es en promedio menor que en las otras clases de copa; su valor aumenta desde la base de la copa hacia el ápice (Figura 8). De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno (Tablas 3 A y 6 A), estos árboles presentaban una copa muy reducida, cuyas secciones basales estaban casi secas, con pocas ramas verdes, con gran parte de las ramas sin acículas y próximas a morir producto de la escasa llegada de luz. En algunos casos el promedio de la *Fts* de la sección apical de la copa llegó a ser tres veces superior al promedio de la sección basal (Tabla 9).

La *Fas* en árboles intermedios disminuye desde la base de la copa hacia el ápice y en la sección apical el valor promedio es muy similar al de *Fts* y *Frs*. El comportamiento de la *Fas* en los árboles intermedios es casi opuesto al de los árboles codominantes ya que la curva en los árboles intermedios tiende al descenso a mayor altura, en cambio en los árboles codominantes la curva asciende desde la base de la copa hacia el ápice.

3.6 Funciones predictoras de biomasa.

El diámetro a la altura del pecho (dap) fue la mejor variable predictora de la masa seca de madera, corteza, total fuste, total árbol, ramas, ramillas y total de la copa, sola o en combinación con otras variables como el diámetro de tocón, altura total y diámetro en la base de la copa viva (Tabla 10).

La madera del fuste concentra un alto porcentaje de la biomasa total sobre el suelo y presenta el mismo modelo predictor que la masa seca total del árbol, con valores similares de R^2 , EEE y F^* (Tabla 10). Además el coeficiente de regresión de la función de masa seca de madera equivale aproximadamente al 89% del coeficiente de regresión de la función de masa seca total del árbol, porcentaje similar al que representa la masa seca total de madera sobre la masa seca total del árbol (Tabla 3). Esto permite estimar cualquiera de las dos variables con sólo una función.

La longitud de copa viva (lc) es mejor predictor de la masa seca de acículas que el dap. Al ser una característica de la copa está directamente relacionada con la biomasa de acículas; el dap en cambio, es una característica del fuste.

El diámetro en la base de la copa viva (dbc) fue una variable importante en la predicción de la masa seca de ramas, ramillas y total de la copa. Sin embargo, es una variable difícil de medir en árboles en pie.

TABLA 10. Funciones predictoras de biomasa por componente y estadística asociada.

| Componente (kg) | Función | R ² aj. (%) | EEE | F | n |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------|--------|---------|----|
| Madera Fuste | $M = 0,486798568 * dap^2$ | 96,80 | 112,40 | 1593,25 | 11 |
| Corteza Fuste | $M = 0,047428414 * dap * ht$ | 58,67 | 28,92 | 162,57 | 11 |
| Total Fuste | $M = 0,52600003 * dap^2$ | 96,58 | 122,34 | 1570,74 | 11 |
| Ramas | $M = 0,000303168 * dap^2 * dbc$ | 92,14 | 5,14 | 346,00 | 12 |
| Acículas | $M = 0,011092764 * dat * lc$ | 88,78 | 2,22 | 380,58 | 12 |
| Ramillas | $M = 0,000113863 * dap^2 * dbc$ | 85,38 | 2,38 | 227,92 | 12 |
| Total Copa* | $M = 0,00230893 * dap^2 * dbc$ | 85,33 | 66,07 | 119,54 | 11 |
| Total Arbol** | $M = 0,544853393 * dap^2$ | 96,69 | 128,30 | 1532,06 | 11 |

* Biomasa total de la copa incluye la sección del fuste de la copa.

** Biomasa total del árbol sobre el suelo.

M es la masa seca (kg) del componente, dap es el diámetro a la altura del pecho (cm), dat es el diámetro a la altura del tocón (cm), ht es la altura total (m), dbc es el diámetro en la base de la copa viva (cm) y lc es la longitud de copa viva (m).

Coefficiente de determinación ajustado (R²), Error estándar de estimación (EEE), Prueba F y Número de unidades muestrales (n).

IV CONCLUSIONES

- La madera es el componente que más aporta a la biomasa total del árbol (88,91%), seguido de la corteza (8,17%), ramas (1,47%), acículas (0,79%) y ramillas (0,66%).
- Existen diferencias significativas entre las tres clases de copa en la masa seca de madera, ramas y total del árbol.
- La copa presenta una distribución irregular de la masa seca a lo largo de su extensión; los árboles dominantes poseen copas de mayor longitud, con ramas más gruesas y de mayor longitud, lo que está directamente relacionado con los valores de biomasa de cada componente de la copa y del total de la copa.
- El mayor porcentaje de masa seca del fuste se concentra en las secciones basales del árbol: el 55,74% de la masa seca total en el primer cuarto, el 82,60% en la mitad y el 95,69% en el tercer cuarto, tras lo cual el aumento de masa seca disminuye gradualmente.
- El dap sólo o en combinación con otras variables como el diámetro de tocón, altura total y diámetro en la base de la copa viva, fue la mejor variable predictora de casi todos los componentes del árbol.

V RESUMEN

Se realizó un estudio de biomasa en árboles de Pinus radiata D. Don de 42 años, obtenidos de un rodal ubicado entre las ciudades de Santa Juana y Nacimiento, VIII región, Chile.

El rodal se diferenció en tres clases de copa: dominante, codominante e intermedio. En cada clase de copa se obtuvieron valores de biomasa para cada componente (madera, corteza, ramas, ramillas y acículas); la madera resultó ser el componente que más aportó a la biomasa total sobre el suelo (88,91%), seguido de la corteza (8,17%) y ramas (1,47%).

Con los valores de biomasa obtenidos, se ajustaron funciones de biomasa por componente, relacionando estos valores con variables del árbol; las mejores variables para estimar la biomasa por componente son el dap (diámetro a la altura del pecho) y el dbc (diámetro en la base de la copa viva).

VI SUMMARY

A study of biomass in Pinus radiata D. Don with 42 years old was made, the trees were obtained of a stand placed between the cities of Santa Juana and Nacimiento, VIII region, Chile.

Three classes of top were differentiated in the stand: dominant, codominant and intermediate. The value of the mass for each component (wood, bark, branches, branchlets and needle) was obtained from each class of top; the wood resulted as the most important component in the total biomass of the tree (88,91%), then the bark (8,17%) and branches (1,47%).

Obtained the values of biomass, the function of biomass for each component was obtained, related this values with the variables of the tree; the best variables to estimate the biomass for each component are dbh (breast height diameter) and dbc (base of live crown diameter).

VII BIBLIOGRAFIA.

1. Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study, Pergamon Press, Oxford.
2. Baldini, J. 1994. Análisis de crecimiento de un rodal adulto de Pinus radiata D.Don. en la VIII Región. Memoria de título. Univ. de Concepción. Facultad de Cs. Forestales. Concepción, Chile.
3. Canovos, G. 1988. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos (2^a edición). Mc Graw - Hill. México.
4. De la Maza, F. 1991. Variación de biomasa en ensayos de clareos de Eucalyptus globulus Labill. VIII Región. Tesis de grado. Univ. de Chile. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
5. Donoso, C. 1990. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente (2^a edición). Editorial Universitaria. Univ. Austral. Valdivia, Chile.
6. Husch, B., C. Miller and T. Beers. 1972. Forest Mensuration. (2nd. Ed.). Wiley. New York.
7. Iturria, L. 1997. Crecimiento y biomasa en una plantación de Pinus radiata D.Don en trumaos de la provincia del Bío Bío, VIII Región. Memoria de

título. Univ. de Concepción. Facultad de Cs. Forestales. Concepción, Chile.

8. Lineros, M. 1986. Funciones locales de biomasa (madera y corteza) para Pinus radiata D.Don. VIII Región. Memoria de título. Univ. de Concepción. Facultad de Cs. Agropecuarias y Forestales. Chillán, Chile.
9. Newbould, P. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. Blackwell Scientific Publ. Oxford, England.
10. Sáez, M. 1991. Biomasa y contenido de nutrientes de renovales no intervenidos de roble-raulí. Tesis de grado. Univ. de Chile. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
11. Santibáñez, F. y J. Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile, regiones sexta, séptima, octava y novena. CORFO. Ministerio de Agricultura, FIA. Santiago, Chile.
12. Smith, D. M. 1986. The practice of silviculture. Wiley. New York.

VIII APENDICE



TABLA 1 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles dominantes.

| Arbol 1 | | | | | |
|---------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 3,5 | 2,92 | 1,30 | 27 |
| | 2 | 3,5 | 3,09 | 2,23 | 39 |
| | 3 | 2,58 | 2,09 | 1,64 | 30 |
| | 4 | 2,06 | 1,33 | 0,97 | 29 |
| | 5 | 1,05 | 0,41 | 0,37 | |
| | | Promedio : 2,56 | Promedio : 1,98 | Promedio : 1,29 | Total: 125 |

| Arbol 3 | | | | | |
|---------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 4,40 | 3,75 | 2,01 | 53 |
| | 2 | 3,23 | 2,49 | 1,65 | 84 |
| | 3 | 3,34 | 2,64 | 1,88 | 63 |
| | 4 | 2,48 | 2,84 | 0,87 | 69 |
| | 5 | 1,38 | 0,92 | 0,56 | |
| | | Promedio : 2,91 | Promedio : 2,47 | Promedio : 1,39 | Total: 269 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 1 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles dominantes (Continuación).

| Arbol 6 | | | | | |
|---------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 6,75 | 4,64 | 0,60 | 42 |
| | 2 | 4,90 | 4,14 | 2,85 | 57 |
| B | 3 | 4,53 | 3,56 | 2,46 | 43 |
| | 4 | 3,05 | 1,92 | 1,15 | 49 |
| D | 5 | 2,18 | 1,19 | 0,85 | |
| | Promedio : 3,89 | | | | Promedio : 1,54 |

| Arbol 11 | | | | | |
|----------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 3,98 | 3,58 | 2,20 | 78 |
| | 2 | 3,24 | 2,49 | 1,79 | 47 |
| B | 3 | 5,36 | 2,75 | 0,76 | 108 |
| | 4 | 3,26 | 1,54 | 1,23 | 99 |
| D | 5 | 2,27 | 0,77 | 0,41 | |
| | Promedio : 3,74 | | | | Promedio : 1,35 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 2 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles codominantes.

| Arbol 2 | | | | | |
|---------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 4,40 | 3,36 | 1,27 | 30 |
| B | 2 | 4,13 | 3,09 | 1,18 | 34 |
| C | 3 | 3,80 | 2,35 | 1,31 | 68 |
| D | 4 | 3,15 | 2,47 | 1,77 | 215 |
| | | 1,58 | 0,64 | 0,32 | |
| | | Promedio : 3,29 | Promedio : 2,29 | Promedio : 1,16 | Total: 347 |

| Arbol 5 | | | | | |
|---------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 3,28 | 2,71 | 1,00 | 41 |
| B | 2 | 2,67 | 2,21 | 1,28 | 31 |
| C | 3 | 2,60 | 1,61 | 0,71 | 28 |
| D | 4 | 1,50 | 1,08 | 0,73 | 21 |
| | | 0,96 | 0,69 | 0,42 | |
| | | Promedio : 2,14 | Promedio : 1,58 | Promedio : 0,78 | Total: 121 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 2 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles codominantes (Continuación).

| Arbol 7 | | | | | |
|---------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 2,38 | 1,60 | 0,56 | 23 |
| | 2 | 2,58 | 2,08 | 1,63 | 31 |
| C | 3 | 2,38 | 2,10 | 1,73 | 16 |
| | 4 | 2,20 | 1,31 | 1,01 | 16 |
| D | 5 | 1,50 | 0,56 | 0,20 | |
| | Promedio : 2,24 | | | | Promedio : 1,06 |

| Arbol 9 | | | | | |
|---------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 2,5 | 1,48 | 0,55 | 14 |
| | 2 | 2,23 | 1,08 | 0,32 | 11 |
| C | 3 | 2,18 | 0,95 | 0,28 | 38 |
| | 4 | 1,9 | 0,85 | 0,32 | 57 |
| D | 5 | 2,17 | 0,55 | 0,00 | |
| | Promedio : 2,19 | | | | Promedio : 0,29 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 3 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles intermedios.

| Arbel 4 | | | | | |
|---------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 2,23 | 1,98 | 0,97 | 18 |
| | 2 | 2,47 | 2,19 | 0,73 | 14 |
| | 3 | 1,60 | 1,29 | 0,00 | 65 |
| | 4 | 3,40 | 0,90 | 0,39 | 59 |
| | 5 | 3,36 | 1,39 | 0,70 | |
| | | Promedio : 2,64 | Promedio : 1,52 | Promedio : 0,55 | Total: 156 |

| Arbel 8 | | | | | |
|---------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas |
| A | 1 | 2,60 | desrramado | desrramado | 36 |
| | 2 | 3,20 | 2,10 | 0,29 | 14 |
| | 3 | 3,60 | 1,89 | 1,14 | 38 |
| | 4 | 2,82 | 1,71 | 1,19 | 71 |
| | 5 | 3,07 | 0,85 | 0,43 | |
| | | Promedio : 3,06 | Promedio : 1,69 | Promedio : 0,79 | Total: 159 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 3 A. Diámetro y largo promedio de las ramas de los verticilos que delimitan cada sección y número estimado de ramas por sección en árboles intermedios (Continuación).

| Arbol 10 | | | | | | |
|----------|-----------|--------------------|----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas | |
| A | 1 | 2,53 | 0,68 | 0,05 | 17 | |
| | 2 | 2,08 | 1,16 | 0,50 | | |
| B | 3 | 2,20 | 0,52 | 0,28 | 19 | |
| | 4 | 3,10 | 1,55 | 0,72 | | |
| C | 5 | 3,15 | 0,40 | 0,25 | 13 | |
| | | Promedio : 2,51 | | Promedio : 0,91 | | Promedio : 0,37 |

| Arbol 12 | | | | | | |
|----------|-----------|--------------------|----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Sección | Verticilo | Diámetro rama (cm) | Largo rama (m) | Largo verde (m) | N° de ramas | |
| A | 1 | 1,80 | 0,58 | 0,43 | 11 | |
| | 2 | 1,72 | 0,70 | 0,13 | | |
| B | 3 | 1,78 | 0,41 | 0,00 | 11 | |
| | 4 | 1,27 | 0,54 | 0,33 | | |
| C | 5 | 2,13 | 0,93 | 0,62 | 23 | |
| | | Promedio : 1,76 | | Promedio : 0,64 | | Promedio : 0,25 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 4 A. Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles dominantes.

| Arbol 1: Exposición Oeste | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|--|--|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | | |
| Norte | 2,20 | 1 | 2,4 | 45,4 | 61 | A | 29,50 | | |
| Oeste | 1,40 | 2 | 6,6 | 51,6 | 8 | B | 66,25 | | |
| Sur | 1,75 | 3 | 5,7 | 52,6 | 311 | C | 45,50 | | |
| Este | 2,60 | 4 | 4,3 | 40,6 | 204 | D | 8,50 | | |
| | | 5 | 5,6 | 39,55 | 130 | | | | |

| Arbol 3: Exposición Oeste | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|--|--|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | | |
| Norte | 2,2 | 1 | 3,92 | 51,20 | 212 | A | 45,8 | | |
| Oeste | 3,2 | 2 | 4,60 | 55,18 | 130 | B | 41,0 | | |
| Sur | 3,4 | 3 | 5,20 | 51,40 | 32 | C | 86,5 | | |
| Este | 0,8 | 4 | 6,00 | 59,30 | 353 | D | 50,0 | | |

| Arbol 6: Exposición Noroeste | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|--|--|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | | |
| Norte | 5,10 | 1 | 4,15 | 46,60 | 29 | A | 41,75 | | |
| Oeste | 4,15 | 2 | 3,48 | 53,50 | 107 | B | 55,00 | | |
| Sur | 2,45 | 3 | 7,35 | 54,90 | 149 | C | 51,75 | | |
| Este | 3,20 | 4 | 4,99 | 48,70 | 226 | D | 36,75 | | |
| | | 5 | 4,90 | 53,15 | 304 | | | | |
| | | 6 | 7,15 | 47,50 | 340 | | | | |

| Arbol 11: Exposición Oeste | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|--|--|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | | |
| Norte | 4,7 | 1 | 2,70 | 47,2 | 215 | A | 51,25 | | |
| Oeste | 2,4 | 2 | 5,35 | 46,0 | 300 | B | 59,00 | | |
| Sur | 3,8 | 3 | 7,80 | 54,6 | 55 | C | 91,25 | | |
| Este | 2,3 | 4 | 7,40 | 48,1 | 115 | D | 53,75 | | |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 5 A. Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles codominantes.

| Arbol 2: Exposición Oeste | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 2,2 | 1 | 6,07 | 53,10 | 346 | A | 21,20 | A | 21,20 |
| Oeste | 2,1 | 2 | 6,43 | 57,90 | 320 | B | 21,20 | B | 21,20 |
| Sur | 3,9 | 3 | 8,17 | 69,35 | 253 | C | 33,25 | C | 33,25 |
| Este | 2,8 | 4 | 9,00 | 57,20 | 189 | D | 41,20 | D | 41,20 |
| | | 5 | 5,40 | 57,10 | 70 | | | | |

| Arbol 5: Exposición Noroeste | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 1,8 | 1 | 4,2 | 54,3 | 19 | A | 31,50 | A | 31,50 |
| Oeste | 3,3 | 2 | 7,8 | 40,0 | 307 | B | 29,00 | B | 29,00 |
| Sur | 1,7 | 3 | 6,5 | 52,3 | 260 | C | 26,25 | C | 26,25 |
| Este | 4,5 | 4 | 7,3 | 41,5 | 160 | D | 12,50 | D | 12,50 |

| Arbol 7: Exposición Norte | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 1,17 | 1 | 2,08 | 65,1 | 350 | A | 15,25 | A | 15,25 |
| Oeste | 1,65 | 2 | 3,91 | 44,4 | 240 | B | 20,25 | B | 20,25 |
| Sur | 4,10 | 3 | 4,80 | 44,9 | 80 | C | 21,75 | C | 21,75 |
| Este | 2,30 | | | | | D | 11,00 | D | 11,00 |

| Arbol 9: Exposición Noroeste | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | Masa verde de cada sección | | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 2,3 | 1 | 3,70 | 39,8 | 280 | A | 5,75 | A | 5,75 |
| Oeste | 1,7 | 2 | 3,51 | 53,4 | 74 | B | 9,75 | B | 9,75 |
| Sur | 2,2 | 3 | 4,94 | 49,0 | 161 | C | 18,50 | C | 18,50 |
| Este | 2,3 | | | | | D | 24,00 | D | 24,00 |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 6 A. Proyección de copas hacia los cuatro puntos cardinales, posición social respecto a los árboles vecinos y masa verde de cada sección en árboles intermedios.

| Arbol 4: Exposición Noroeste | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | | Masa verde de cada sección | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 2,1 | 1 | 3,70 | 63,8 | 50 | A | 9,50 | B | 12,00 |
| Oeste | 1,5 | 2 | 6,75 | 43,7 | 323 | C | 39,50 | D | 9,25 |
| Sur | 2,4 | 3 | 6,10 | 51,7 | 210 | | | | |
| Este | 1,9 | 4 | 7,63 | 59,9 | 275 | | | | |

| Arbol 8: Exposición Noroeste | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | | Masa verde de cada sección | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 1,30 | 1 | 4,10 | 46,6 | 33 | A | 10,25 | B | 6,50 |
| Oeste | 1,86 | 2 | 3,36 | 42,1 | 282 | C | 13,75 | D | 23,00 |
| Sur | 2,10 | 3 | 5,45 | 59,9 | 185 | | | | |
| Este | 0,90 | 4 | 3,85 | 41,0 | 106 | | | | |

| Arbol 10: Exposición Oeste | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | | Masa verde de cada sección | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 0,70 | 1 | 3,15 | 61,4 | 295 | A | 1,75 | B | 2,75 |
| Oeste | 1,10 | 2 | 4,40 | 47,6 | 144 | C | 3,00 | D | 4,75 |
| Sur | 2,55 | 3 | 6,68 | 41,4 | 191 | | | | |
| Este | 1,35 | | | | | | | | |

| Arbol 12: Exposición Suroeste | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|---------|-----------|
| Punto Cardinal | Proyección de copa (m) | Posición árboles vecinos | | | | Masa verde de cada sección | | | |
| | | N° | Distancia (m) | dap (cm) | Rumbo (°) | Sección | Masa (kg) | Sección | Masa (kg) |
| Norte | 0,6 | 1 | 3,40 | 39,2 | 287 | A | 2,50 | B | 3,50 |
| Oeste | 2,2 | 2 | 4,37 | 56,1 | 0 | C | 5,50 | D | 6,75 |
| Sur | 1,5 | 3 | 5,88 | 64,5 | 135 | | | | |
| Este | 0,5 | | | | | | | | |

A: Base de la copa. D: Sección apical. B y C: Secciones intermedias.

TABLA 7 A. Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodela extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles dominantes.

| Arbol 1 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,29 | 740,38 | 63,49 |
| B | 5,47 | 654,90 | 77,91 |
| C | 9,94 | 586,78 | 79,18 |
| D | 14,05 | 585,08 | 78,65 |
| E | 18,23 | 580,56 | 71,03 |
| F | 22,43 | 581,30 | 79,73 |
| G | 26,64 | 572,36 | 66,33 |
| H | 30,83 | 563,00 | 95,68 |
| I | 35,02 | 539,15 | 52,23 |
| J | 39,21 | 540,14 | 77,52 |
| K | 41,93 | 524,00 | 118,30 |
| L | 44,39 | 493,00 | 37,62 |
| M | 46,42 | 447,00 | 24,49 |
| Promedio | | 569,82 | 70,94 |

| Arbol 3 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,33 | 694,05 | 84,02 |
| B | 5,64 | 656,84 | 90,37 |
| C | 10,75 | 637,50 | 83,05 |
| D | 14,97 | 626,15 | 97,82 |
| E | 19,19 | 621,74 | 91,76 |
| F | 23,39 | 619,87 | 90,43 |
| G | 27,59 | 616,13 | 102,73 |
| H | 31,78 | 587,16 | 80,67 |
| I | 35,97 | 552,51 | 104,43 |
| J | 40,16 | 541,12 | 104,19 |
| Promedio | | 615,31 | 92,95 |

| Arbol 6 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,26 | 770,93 | 44,65 |
| B | 5,40 | 745,73 | 82,72 |
| C | 9,59 | 692,90 | 84,52 |
| D | 13,79 | 684,10 | 87,63 |
| E | 17,99 | 641,42 | 89,13 |
| F | 22,18 | 629,63 | 92,64 |
| G | 26,37 | 598,35 | 99,82 |
| H | 30,56 | 592,52 | 112,23 |
| I | 34,75 | 579,84 | 125,34 |
| J | 38,94 | 545,69 | 119,92 |
| K | 41,41 | 503,46 | 99,38 |
| Promedio | | 634,96 | 94,36 |

| Arbol II | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,22 | 804,59 | 53,45 |
| B | 5,35 | 760,61 | 61,23 |
| C | 10,49 | 732,95 | 101,03 |
| D | 14,68 | 660,29 | 107,52 |
| E | 18,86 | 628,17 | 92,95 |
| F | 23,05 | 616,79 | 118,18 |
| G | 27,22 | 597,22 | 93,03 |
| H | 31,40 | 581,14 | 113,91 |
| I | 35,58 | 544,56 | 132,90 |
| J | 38,05 | 533,78 | 97,41 |
| K | 40,51 | 515,25 | 96,40 |
| L | 42,97 | 462,86 | 50,10 |
| M | 43,70 | 439,73 | 107,87 |
| Promedio | | 606,00 | 94,31 |

C.H.: Contenido de Humedad

TABLA 8 A. Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodelas extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles codominantes.

| Arbol 2 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,28 | 768,33 | 40,49 |
| B | 4,47 | 757,14 | 55,25 |
| C | 8,67 | 644,59 | 63,30 |
| D | 12,88 | 636,36 | 70,69 |
| E | 17,61 | 604,03 | 69,89 |
| F | 21,81 | 565,27 | 80,42 |
| G | 26,01 | 545,77 | 88,11 |
| H | 28,51 | 475,63 | 87,54 |
| I | 30,99 | 468,47 | 106,95 |
| J | 33,47 | 468,82 | 104,52 |
| K | 35,95 | 460,65 | 106,14 |
| L | 38,42 | 455,75 | 25,41 |
| Promedio | | | 74,89 |

| Arbol 5 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,34 | 762,67 | 39,65 |
| B | 4,53 | 735,14 | 95,28 |
| C | 8,71 | 696,55 | 97,41 |
| D | 12,93 | 675,49 | 98,05 |
| E | 17,47 | 664,88 | 95,84 |
| F | 22,36 | 573,62 | 112,21 |
| G | 26,55 | 571,28 | 129,23 |
| H | 30,73 | 568,90 | 115,74 |
| I | 33,19 | 537,03 | 114,00 |
| J | 35,66 | 516,67 | 129,79 |
| K | 38,13 | 500,33 | 115,96 |
| L | 40,52 | 483,89 | 94,65 |
| Promedio | | | 103,15 |

| Arbol 9 | | | |
|----------------------------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,23 | 775,61 | 50,03 |
| B | 5,36 | 767,01 | 89,00 |
| C | 9,54 | 741,44 | 63,54 |
| D | 13,73 | 739,42 | 59,66 |
| E | 17,92 | 708,53 | 78,67 |
| F | 22,10 | 659,92 | 83,10 |
| G | 26,29 | 624,58 | 62,52 |
| H | 30,47 | 585,25 | 92,93 |
| I | 32,94 | 554,96 | 113,59 |
| J | 35,41 | 548,64 | 117,52 |
| K | 37,87 | 559,11 | 97,19 |
| L | 40,33 | 449,20 | 63,65 |
| M | 42,63 | 392,50 | 54,07 |
| Promedio | | | 623,55 |
| C.H.: Contenido de Humedad | | | 78,88 |

TABLA 9 A. Valores de densidad de referencia (estado verde) y contenido de humedad de las rodela extraídas a diferentes alturas del árbol, en árboles intermedios.

| Arbol 4 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,24 | 643,30 | 73,66 |
| B | 5,39 | 607,27 | 78,68 |
| C | 9,58 | 608,11 | 81,71 |
| D | 13,77 | 569,58 | 64,65 |
| E | 17,96 | 568,23 | 76,72 |
| F | 22,14 | 557,70 | 77,96 |
| G | 26,32 | 542,32 | 65,09 |
| H | 28,79 | 539,81 | 72,43 |
| I | 30,10 | 475,50 | 76,02 |
| J | 31,26 | 456,12 | 107,13 |
| K | 33,73 | 471,33 | 70,65 |
| L | 35,60 | 448,60 | 90,60 |
| Promedio | | | 77,94 |

| Arbol 8 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 0,24 | 634,86 | 42,21 |
| B | 5,37 | 587,66 | 51,91 |
| C | 9,56 | 541,26 | 56,26 |
| D | 13,75 | 531,60 | 48,52 |
| E | 17,93 | 513,22 | 66,80 |
| F | 22,12 | 466,17 | 54,79 |
| G | 26,30 | 432,30 | 59,19 |
| H | 30,48 | 424,36 | 76,87 |
| I | 32,95 | 410,86 | 64,71 |
| J | 34,20 | 377,40 | 51,34 |
| Promedio | | | 57,26 |

| Arbol 10 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 1,23 | 761,81 | 31,95 |
| B | 5,42 | 742,21 | 50,09 |
| C | 9,59 | 730,33 | 49,76 |
| D | 13,77 | 699,50 | 50,61 |
| E | 17,94 | 686,40 | 58,57 |
| F | 20,41 | 591,75 | 59,63 |
| G | 22,87 | 547,50 | 61,61 |
| H | 23,74 | 504,80 | 26,64 |
| I | 26,72 | 470,44 | 70,46 |
| Promedio | | | 51,04 |

| Arbol 12 | | | |
|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Rodela | Altura (m) | Densidad (kg/m ³) | C. H. (%) |
| A | 1,05 | 772,42 | 49,60 |
| B | 5,23 | 747,94 | 51,39 |
| C | 9,41 | 735,14 | 47,56 |
| D | 13,64 | 632,44 | 56,64 |
| E | 17,82 | 576,32 | 56,41 |
| F | 22,0 | 535,47 | 54,31 |
| G | 24,46 | 502,33 | 69,53 |
| H | 26,93 | 483,75 | 63,42 |
| I | 29,38 | 521,14 | 30,81 |
| J | 31,84 | 508,00 | 22,07 |
| K | 33,26 | 464,29 | 58,60 |
| Promedio | | | 50,94 |

C.H.: Contenido de Humedad

TABLA 10 A. Distribución de la biomasa por clase de copa y promedio según altura relativa.

| Dominantes | Masa seca (%) | | | Total |
|------------|---------------|---------|--|-------|
| | Madera | Corteza | | |
| 10,00 | 31,67 | 39,52 | | 32,20 |
| 20,00 | 49,29 | 57,77 | | 49,86 |
| 25,00 | 56,36 | 64,27 | | 56,89 |
| 30,00 | 62,72 | 69,58 | | 63,09 |
| 33,33 | 66,93 | 73,30 | | 67,36 |
| 40,00 | 74,24 | 80,03 | | 74,61 |
| 50,00 | 83,16 | 87,16 | | 83,43 |
| 60,00 | 90,01 | 92,43 | | 90,17 |
| 66,66 | 93,55 | 94,96 | | 93,64 |
| 70,00 | 94,97 | 96,02 | | 95,05 |
| 75,00 | 96,75 | 97,33 | | 96,78 |
| 80,00 | 97,95 | 98,35 | | 97,96 |
| 90,00 | 99,51 | 99,64 | | 99,25 |

| Intermedios | Masa seca (%) | | | Total |
|-------------|---------------|---------|--|-------|
| | Madera | Corteza | | |
| 10,00 | 27,56 | 50,55 | | 30,02 |
| 20,00 | 46,29 | 64,02 | | 48,17 |
| 25,00 | 53,83 | 69,11 | | 55,44 |
| 30,00 | 60,67 | 73,68 | | 62,05 |
| 33,33 | 64,95 | 76,46 | | 66,17 |
| 40,00 | 72,89 | 81,59 | | 73,81 |
| 50,00 | 82,26 | 87,47 | | 82,82 |
| 60,00 | 89,42 | 92,31 | | 89,74 |
| 66,66 | 93,10 | 95,06 | | 93,32 |
| 70,00 | 94,53 | 96,09 | | 94,71 |
| 75,00 | 96,60 | 97,67 | | 96,73 |
| 80,00 | 97,80 | 98,41 | | 97,90 |
| 90,00 | 99,41 | 99,59 | | 99,47 |

| Codominantes | Masa seca (%) | | | Total |
|--------------|---------------|---------|--|-------|
| | Madera | Corteza | | |
| 10,00 | 29,23 | 40,27 | | 30,31 |
| 20,00 | 46,72 | 57,37 | | 47,77 |
| 25,00 | 54,12 | 63,92 | | 54,89 |
| 30,00 | 60,91 | 69,93 | | 61,77 |
| 33,33 | 65,11 | 73,09 | | 65,67 |
| 40,00 | 72,69 | 79,42 | | 73,37 |
| 50,00 | 81,30 | 86,62 | | 81,55 |
| 60,00 | 87,64 | 91,99 | | 88,10 |
| 66,66 | 90,18 | 93,49 | | 90,29 |
| 70,00 | 92,15 | 95,78 | | 92,54 |
| 75,00 | 93,52 | 96,91 | | 93,57 |
| 80,00 | 94,49 | 97,90 | | 94,86 |
| 90,00 | 96,10 | 99,35 | | 96,46 |

| Promedio | Masa seca (%) | | | Total |
|----------|---------------|---------|--|-------|
| | Madera | Corteza | | |
| 10,00 | 29,49 | 43,45 | | 30,84 |
| 20,00 | 47,43 | 59,72 | | 48,60 |
| 25,00 | 54,77 | 65,77 | | 55,74 |
| 30,00 | 61,43 | 70,96 | | 62,30 |
| 33,33 | 65,66 | 74,28 | | 66,40 |
| 40,00 | 73,27 | 80,35 | | 73,93 |
| 50,00 | 82,24 | 87,08 | | 82,60 |
| 60,00 | 89,02 | 92,24 | | 89,34 |
| 66,66 | 92,28 | 94,50 | | 92,42 |
| 70,00 | 93,88 | 95,96 | | 94,10 |
| 75,00 | 95,62 | 97,30 | | 95,69 |
| 80,00 | 96,75 | 98,22 | | 96,91 |
| 90,00 | 98,34 | 99,53 | | 98,39 |



TABLA 1 B. Tabla de rodal de la plantación en estudio.

| dap (cm) | Frecuencia (árbs/ha) | Area Basal (m ² /ha) |
|--------------|-------------------------|------------------------------------|
| 30 | 2,5 | 0,19 |
| 32 | 5,0 | 0,40 |
| 34 | 15,0 | 1,40 |
| 36 | 2,5 | 0,27 |
| 38 | 22,5 | 2,62 |
| 40 | 20,0 | 2,58 |
| 42 | 22,5 | 3,13 |
| 44 | 27,5 | 4,17 |
| 46 | 12,5 | 2,09 |
| 48 | 37,5 | 6,73 |
| 50 | 40,0 | 7,76 |
| 52 | 25,0 | 5,35 |
| 54 | 22,5 | 5,19 |
| 56 | 7,5 | 1,85 |
| 58 | 15,0 | 3,90 |
| 60 | 15,0 | 4,16 |
| 62 | 5,0 | 1,52 |
| 64 | 7,5 | 2,44 |
| 66 | 5,0 | 1,71 |
| 68 | 5,0 | 1,79 |
| Total | 315 | 59,24 |

Fuente: Forestal Mininco S.A. 1997.