



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Biomasa aérea en una plantación de
Austrocedrus chilensis de 20 años ubicada en Valdivia.**

Patrocinante: Sr. Carlos Le-Quesne G.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero Forestal.**

DUNCAN JAMES MAC DONALD SALAS

VALDIVIA
2005

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Carlos Le Quesne	<u>6,0</u>
Informante:	Sr. Antonio Lara	<u>6,6</u>
Informante:	Sr. Víctor Gerging	<u>5,5</u>

El profesor Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del comité de Titulación.

Sr. Carlos Le Quesne G.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el constante apoyo y paciencia, a los profesores que me guiaron y apoyaron en la realización de este documento.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes de la especie	3
2.1.1 Descripción	3
2.1.2 Distribución geográfica	3
2.1.3 Preferencias edafo-climáticas	4
2.2 Biomasa aérea	4
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	6
3.1 Antecedentes generales del sitio	6
3.2 Metodología de terreno	7
3.3 Metodología de laboratorio	8
3.4 Cálculos de biomasa	9
3.4.1 Peso húmedo corregido	9
3.4.2 Participación de cada componente de las muestras húmedas	9
3.4.3 Relación peso seco/peso húmedo medio porcentual	10
3.4.4 Obtención de la biomasa aérea total por árbol y por hectárea	11
3.4.5 Obtención de los porcentajes de participación de los componentes	11
3.4.6 Análisis estadístico de los porcentajes de participación de las diferentes componentes de las distintas clases diamétricas	11
3.4.7 Ajuste de los modelos matemáticos estimadores de la biomasa	12
4. RESULTADOS	13
4.1 Cantidades de biomasa	13

ÍNDICE DE MATERIAS

		Página
4.2	Porcentajes de participación de los componentes	15
5	DISCUSIÓN	21
6	CONCLUSIÓN	24
7	BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS		
1	<i>Abstract</i>	
2	Inventario de la subpoblación en estudio	
3	Formulario y datos de terreno	
4	Porcentajes de participación de los componentes de la biomasa aérea de cada árbol	
5	Porcentajes medios de los componentes de la biomasa aérea según las clases diamétricas	
6	Porcentajes medios por sección, de los componentes de la biomasa aérea según las clases diamétricas	
7	Modelos matemáticos ajustados, para estimar la biomasa aérea total	

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Caracterización de la subpoblación en estudio	7
Cuadro 2	Estadísticos descriptivos de la muestra obtenida del rodal	13
Cuadro 3	Biomasa aérea de los componentes	13
Cuadro 4	Estadísticos descriptivos de los porcentajes de participación de los componentes	15
Cuadro 5	Valores de t-calculado para cada componente	17
Cuadro 6	Valores de t-calculado para las secciones de cada componente	20

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Esquema de las secciones definidas y sus componentes	8
Figura 2	Relación entre la biomasa aérea total y el DAP	14
Figura 3	Biomasa de los componentes en función del diámetro	15
Figura 4	Porcentaje de participación de los componentes en función del diámetro	16
Figura 5	Porcentaje de participación de los componentes de cada árbol	16
Figura 6	Participación de los componentes de la biomasa aérea por clase diamétrica	17
Figura 7	Participación de los componentes por sección	18
Figura 8	Participación de los componentes de la biomasa aérea por sección, para cada clase diamétrica	19

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio de biomasa es un requisito básico para entender los requerimientos de una especie. En este estudio se obtuvo de forma destructiva la biomasa de 15 individuos de *Austrocedrus chilensis* de 20 años en un rodal plantado fuera de su distribución natural, en la provincia de Valdivia. Se estableció la participación de los componentes y las diferencias entre clases diamétricas y se ajustaron funciones estimadoras de biomasa aérea total. El principal componente de la biomasa es la madera seguido por las ramas, hojas, ramillas y corteza. Se concluye que a medida que aumenta el diámetro del fuste aumenta la participación de madera, ramas y corteza, mientras que las hojas y ramillas disminuyen. De los modelos estimadores de biomasa aérea total ajustados, $BT = 0,136DAP^2 + 0,629DAP$ presentó un mejor ajuste ($R^2 = 99\%$) y menor error de estimación ($EE = 2,16$ kg) para las condiciones del rodal.

Palabras clave: *Austrocedrus chilensis*, biomasa, participación de los componentes, funciones estimadoras de biomasa.

1. INTRODUCCIÓN

La madera de *Austrocedrus chilensis* (Don.) Flor. et Bouteleje “ciprés de la cordillera” ha sido utilizada, debido a su calidad, durabilidad y belleza, en revestimientos de interiores, postes, puertas, estacas, tejuelas, crucetas, embarcaciones, ventanas y muebles. Casas enteras se construyeron con madera de esta especie (Pérez, 1983). Hoy en día su utilización está restringida debido a leyes gubernamentales, que protegen la especie de las sobrexplotaciones, como las realizadas en décadas pasadas.

El uso de *Austrocedrus chilensis* bajo leyes adecuadas de protección, dependerá del conocimiento existente de la especie, por lo que su estudio es importante para proponer tratamientos silviculturales apropiados y de esta manera otorgar a *Austrocedrus chilensis* un rol activo, como en la restauración de sitios xéricos, pudiendo así satisfacer ciertas necesidades urbanas y ecológicas, asegurando un mejor uso de este recurso.

Conocer la biomasa de los árboles es un requisito básico para estudiar el funcionamiento del ecosistema y las necesidades de las especies, sus ciclos de nutrientes y flujos de energía (Garcinuño, 1995). Los estudios de productividad se refieren a biomasa aérea, incluyendo madera, corteza, hojas, ramas y frutos (Saez, 1991). Estos estudios normalmente son efectuados en especies de rápido crecimiento. Sin embargo se desconoce la productividad de las especies de lento crecimiento, lo que es crucial debido a la importancia que presenta la directa relación entre biomasa y cantidad de anhídrido de carbono absorbido en las estructuras de los árboles.

La información que brinde este estudio (biomasa total aérea y su distribución) junto con otros elementos, servirá para considerar una mayor variedad de especies al momento de establecer cultivos forestales, dependiendo de las necesidades u objetivos (tanto sociales como económicos) de las futuras plantaciones.

La proporción de materia seca aérea de los componentes es de suma importancia, debido a que diferencias entre rodales pueden significar una distinta capacidad para satisfacer la demanda de productos o servicios del bosque. Los principales factores que influyen en el porcentaje de participación para los componentes de la biomasa aérea son la densidad de plantación, distribución espacial y la etapa de desarrollo del rodal (Ferrando *et al*, 2001), ya que determinan la intensidad de la competencia entre individuos (Goya *et al*, 1998).

La biomasa aérea puede ser obtenida mediante diversos métodos, directos o indirectos. Los métodos directos son destructivos, a diferencia de los métodos indirectos que son estimaciones obtenidas mediante funciones matemáticas (Garcinuño, 1995).

El objetivo general del presente estudio, es obtener y estimar la biomasa aérea en una plantación de *Austrocedrus chilensis* de 20 años establecida en las cercanías de Valdivia. Se comparan distintas clases diamétricas, las proporciones medias de biomasa para cada componente (madera, corteza, ramas, ramillas y hojas).

El estudio plantea los siguientes objetivos específicos:

- Ajustar un modelo matemático que permita estimar la biomasa de los árboles a partir de una variable de fácil medición en terreno.
- Calcular los porcentajes de participación de cada componente de la biomasa de las distintas clases diamétricas existentes en el rodal.
- Comparar las proporciones existentes de los componentes de la biomasa entre individuos de clases diamétricas distintas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la especie

2.1.1 Descripción

Austrocedrus chilensis presenta hábito piramidal, copa compacta y cónica. Los ejemplares adultos alcanzan 20 a 25 m de altura y 1 a 2 m de diámetro. El tronco es recto y cónico presentando una corteza áspera y rugosa, con fisuras longitudinales, generalmente, algo parda en la parte inferior y gris cenicienta en la superior (Hoffmann, 1994; Pérez, 1983). Presenta ramillas aplanadas y opuestas siempre en un plano (Hoffmann, 1994) formando un aspecto semejante a las especies de *Thuja sp.* (Baeza y Garín, 1942) y su sistema radicular es superficial y extendido, siendo notorio que sobresalga del suelo (Salinas y del Fierro, 1998).

Generalmente *Austrocedrus chilensis* es una especie dioica, sin embargo se han observado individuos monoicos (Veblen *et al*, 1995). Los conos masculinos se presentan en las terminaciones de los brotes como cortos amentos cilíndricos de cinco a seis flores con cuatro sacos polínicos globosos (Baeza y Garín, 1942). Los estróbilos femeninos consisten en conos oblongos agrupados, compuestos de 4 a 6 escamas leñosas en cuya base se encuentran los óvulos (Hoffmann, 1994), los que contienen dos a cuatro semillas bialadas (Pérez, 1983).

Se trata de una especie intolerante de desarrollo relativamente rápido, en condiciones de sitio adecuadas (Pérez, 1983). En suelos profundos puede alcanzar un incremento medio anual mayor a 10 mm en diámetro, pero en sectores menos favorables, como los suelos erosionados de la zona de Curicó, en sitios con exposición norte, presentan valores promedios que fluctúan alrededor de los 2,9 mm (Le Quesne, 1988). En general se ha observado que *Austrocedrus chilensis* presenta los mayores incrementos durante los 35 primeros años, para luego de los 70 años disminuir a valores inferiores a la mitad (Goya *et al*, 1998).

2.1.2 Distribución geográfica

Árbol endémico de los bosques andino-patagónicos (Grosfeld y Barthélémy, 2005). Es la conífera chilena que alcanza el límite más septentrional (Pérez, 1983), pues se le encuentra en la Cordillera de Los Andes desde los 32°39' latitud sur hasta el 38° latitud sur, vuelve a aparecer entre los paralelos 42° y 44° latitud sur (Donoso, 1981). Al norte del paralelo 35° S. abunda preferentemente en los faldeos andinos con exposición norte, entre los 900 y 1.800 m s.n.m. (Salinas y del Fierro, 1998; Le Quesne, 1988). Hacia el sur baja paulatinamente de altitud encontrándose entre los 400 y 700 ms.n.m., siguiendo en algunos sectores el límite vegetacional arbóreo (Le Quesne, 1988). En la región sur y austral, desciende aun más en altura, pero sin aproximarse al litoral (Pérez, 1983).

En la Cordillera de la Costa, donde es muy escasa, se encuentra en las partes altas, de los faldeos orientales de la Cordillera de Nahuelbuta y en Río Bueno (Donoso, 1998).

En las proximidades de la latitud 44° sur en las áreas de Palena, aparece en altitudes que bordean los 400 m s.n.m. ocupando laderas de sotavento (Donoso, 1998).

Las mayores poblaciones de la especie se encuentran en territorio argentino (Salinas y del Fierro, 1998) distribuyéndose entre los 36°30' y los 43°35' latitud sur, en una faja de aproximadamente 10 a 15 km de ancho prefiriendo, al igual que en Chile, las exposiciones norte y oeste (Donoso, 1998).

2.1.3 Preferencias edafo-climáticas

La distribución de esta especie muestra la capacidad para soportar diferentes condiciones climáticas (Pérez, 1983), encontrándose para su distribución norte principalmente en el área de clima mediterráneo subhúmedo, a diferencia del extremo sur de su distribución en que se desarrolla en el área del clima correspondiente a la degeneración esteparia (Le Quesne, 1988). Se ubica por lo general en laderas de exposición norte y en localidades áridas, suelos pobres y erosionados (Hoffmann, 1994), corrientemente de origen granodiorítico, granítico o metamórfico, rocosos o pedregosos, sobre cenizas, lavas u otros materiales volcánicos poco intemperizados (Salinas y del Fierro, 1998).

2.2 Biomasa aérea

Las plantas verdes deben fotosintetizar para obtener los elementos nutritivos existentes en el medio, utilizando la energía solar. El resultado de la fotosíntesis es la producción primaria, la que es incorporada a los tejidos. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como peso seco o biomasa (Satoo, 1982).

Para obtener la biomasa aérea de una población establecida en una condición de sitio específica, carente de una base de datos, se debe utilizar un método directo, seleccionando y extrayendo árboles que representen a la población en estudio, los cuales son secados y pesados. Una vez obtenida la base de datos se ajustan modelos matemáticos (funciones) al comportamiento de la población, para lo cual se utilizan variables de fácil medición, tales como DAP (diámetro a 1,3 m de altura), DMC (diámetro medio cuadrático), altura total, altura de comienzo de copa y área basal (Garcinuño, 1995).

La biomasa presenta variaciones según la especie y edad, como también de la densidad, el sitio y el tratamiento silvicultural (Garcinuño, 1995). La biomasa total de rodales de una misma especie bajo similares condiciones de crecimiento, es función directa de la edad del rodal. Asimismo, la producción de materia seca tenderá a aumentar con la densidad del rodal y la calidad del sitio (Satoo, 1982). Por otra parte la biomasa por unidad de área será máxima, al momento de alcanzar (el rodal) el fin de la etapa de establecimiento y el comienzo del autorraleo (Ferrando *et al*, 2001).

Las diferentes estructuras que conforman la biomasa total de un árbol, presentan participaciones relativas distintas (Rodríguez, 1989). Sin embargo la producción de materia seca depende esencialmente de la producción del follaje (Ferrando *et al*, 2001). Dicho de otra forma el incremento anual del volumen bruto de copa tiene la mayor incidencia sobre el crecimiento del fuste (Letourneau *et al*, 2005). En general, el porcentaje de participación del fuste aumenta, mientras que los de ramas y follaje disminuyen, a medida que la edad del individuo aumenta. De manera similar se comporta la cantidad de biomasa total frente a la calidad de sitio y densidad del rodal (Rodríguez, 1989).

Garcinuño (1995) menciona que en un estudio de biomasa en *Eucalyptus globulus* adultos, la participación porcentual del fuste (70%) y la copa (30%) tienden a estabilizarse debido a incrementos menores de los componentes ramas y ramillas, resultados que son semejantes a los obtenidos en abetos y álamos. También señala que en rodales adultos de *Eucalyptus globulus* regenerados de monte alto, la distribución de biomasa presentó un 80% de fuste (madera 68,6% y corteza 10,2%), y un 20% en los componentes de la copa (ramillas 8,7%, hojas 5,5% y ramas 4,9%).

Aparicio (2001) obtuvo 57 una productividad de kg/árbol de materia seca, en una plantación de cuatro años de *Eucalyptus nitens*, ubicada en la provincia de Llanquihue, zona que presenta un clima de costa occidental con influencia mediterránea, situada sobre un suelo serie Crucero. Se estableció con una densidad inicial de 1.626 plantas/ha representada con un DAP medio de 11,7 cm. Obteniendo porcentajes medios para los componentes (de la biomasa) de un 56% de madera (51,9 t/ha), 10% corteza (8,2 t/ha), 18% ramas (17,4 t/ha) y un 16% para las hojas (15,5 t/ha).

Muñoz (2002) por su parte realizó un estudio basado en una plantación de siete años para la misma especie. La población presentó un DAP medio de 14,9 cm, altura media de 17,3 m y 88,7 kg/árbol de materia seca, una biomasa de 11,4 t/ha (8,7%) de hojas, 5,3 t/ha (4%) de ramillas, 4,9 t/ha (3,7%) de ramas, 4,5 t/ha (3,4%) de ramas muertas, 12,2 t/ha (9,1%) de corteza y un 93,1 t/ha (71%) de madera, con un total de 131,4 t/ha.

Un estudio realizado en Argentina (en la Reserva Forestal Loma del Medio), no reveló diferencias significativas en la biomasa total y en la proporción de cada uno de sus componentes, entre tres rodales puros de *Austrocedrus chilensis* que se encontraban en un estadio maduro y completamente poblado. La proporción media de los componentes de la biomasa aérea fue de un 14,6 t/ha (7,9 %) de hojas, 24,7 t/ha (13,5 %) de ramas, 145,7 t/ha (78,6 %) de fuste, para un total de 185 t/ha (Ferrando *et al*, 2001).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes generales del sitio

La investigación se realizó en un rodal establecido en el predio Las Palmas, propiedad de la Universidad Austral de Chile, ubicado a 18 km al noreste de la ciudad de Valdivia.

El rodal, con una superficie de 0,8 ha, fue establecido el año 1983, con plantas originadas de semillas procedentes de Curicó, con un espaciamiento inicial de 2X2 metros lo que corresponde a una densidad de 2.500 árboles por hectárea. El rodal presentó, al momento del muestreo (otoño del año 2003), una tasa de mortalidad acumulada de un 17% (Stange, 2004), con un diámetro medio de 10,8 cm, altura media de 5,6 m y 21 m² de área basal por hectárea. El incremento medio anual fue de 0,54 cm en diámetro. Siguiendo el esquema de “arquitectura básica y secuencia de desarrollo del ciprés” usado por Grosfeld y Barthélémy (2005), los árboles del rodal caerían en dos clasificaciones, “renuevo y adulto”.

La topografía del sitio es un terreno relativamente plano, con pendientes que no superan el 15% y una altitud de 120 m s.n.m. El suelo, perteneciente a la serie Los Ulmos, con nombre taxonómico *Clayey, halloysitic, mesic Orthoxic Pale Humult* (CIREN, 1999), se caracteriza por ser moderadamente profundo a profundo, presenta colores pardo rojizo oscuro en superficie a pardo oscuro en profundidad. Las texturas son moderadamente finas en superficie a finas en profundidad. Son suelos bien estructurados (granular y subangular en superficie y subangular en profundidad), friables, plásticos y adhesivos hasta los 12 cm de profundidad. En profundidad son ligeramente duros, firmes, muy plásticos y muy adhesivos. El arraigamiento es bueno hasta los 47 cm, en profundidad las raíces se hacen escasas. Los valores de densidad aparente, densidad real, porosidad e infiltración indican que el suelo presenta buenas características físicas, siempre que no se presente erosionado, consecuencia de los usos anteriores y fuertes intervenciones como es el caso del sitio en estudio.

La zona de Valdivia presenta un clima templado lluvioso de costa occidental con influencia mediterránea (Droppelmann, 1986), las precipitaciones son abundantes en los meses de invierno y disminuyen hacia el verano, con un promedio de 2.000 mm anuales. La temperatura media anual es de 11°C con una humedad relativa que alcanza un promedio de 76% (Dondero, 2001).

3.2 Metodología de terreno

El primer paso fue la definición de las clases diamétricas para la población en estudio, mediante un muestreo sistemático hilera por medio (Anexo 3), donde se registró exclusivamente el DAP (diámetro a los 1,3 m del suelo). Teniendo en cuenta un número máximo de 15 individuos, los que se distribuyeron según las frecuencias que presentaron las clases diamétricas. La población presentó tres clases $[\leq 5]$, $]5-10]$ y $]10-15]$ centímetros de DAP. Se analizó un individuo para la primera, 8 para la segunda y 6 para la última clase diamétrica. Los individuos del rodal considerados para este estudio pertenecen a una población a la cual no se le efectuó poda, su caracterización se muestra en el cuadro 1. En la selección de los individuos extraídos se consideró la homogeneidad del espaciamiento (Donoso, 1998).

Cuadro 1. Caracterización de la subpoblación en estudio.

Clase diamétrica (cm)	Frecuencia (árboles/ha)	Area basal (m ² /ha)
[0-5]	207	0,1
]5-10]	1038	4,6
]10-15]	830	10,2
Total	2075	14,9

A principios de otoño del año 2003 se voltearon los árboles del muestreo. El corte se efectuó en la base del árbol, separando el árbol en cuatro secciones: fuste, copa muerta, copa viva inferior y copa viva superior (Figura 1). Cada uno de estos componentes fue pesado, obteniendo el peso húmedo total de cada sección.

Con el fin de obtener el peso seco, se extrajo, pesó (peso húmedo) e identificó una muestra de cada sección para los 15 árboles. Para el caso de los componentes presentes en el fuste, se extrajeron de tres a cuatro rodela (secciones transversales) por árbol, debido a la variación en altura del contenido de humedad. La distancia entre las muestras extraídas se definió mediante el criterio de distancia variable, dividiendo la altura del árbol en cinco (Figura 1). El tamaño de la muestra no fue definido ya que esto dependió de la cantidad de material disponible, por lo que a los individuos más pequeños se extrajo un mayor porcentaje de material pero una menor cantidad.

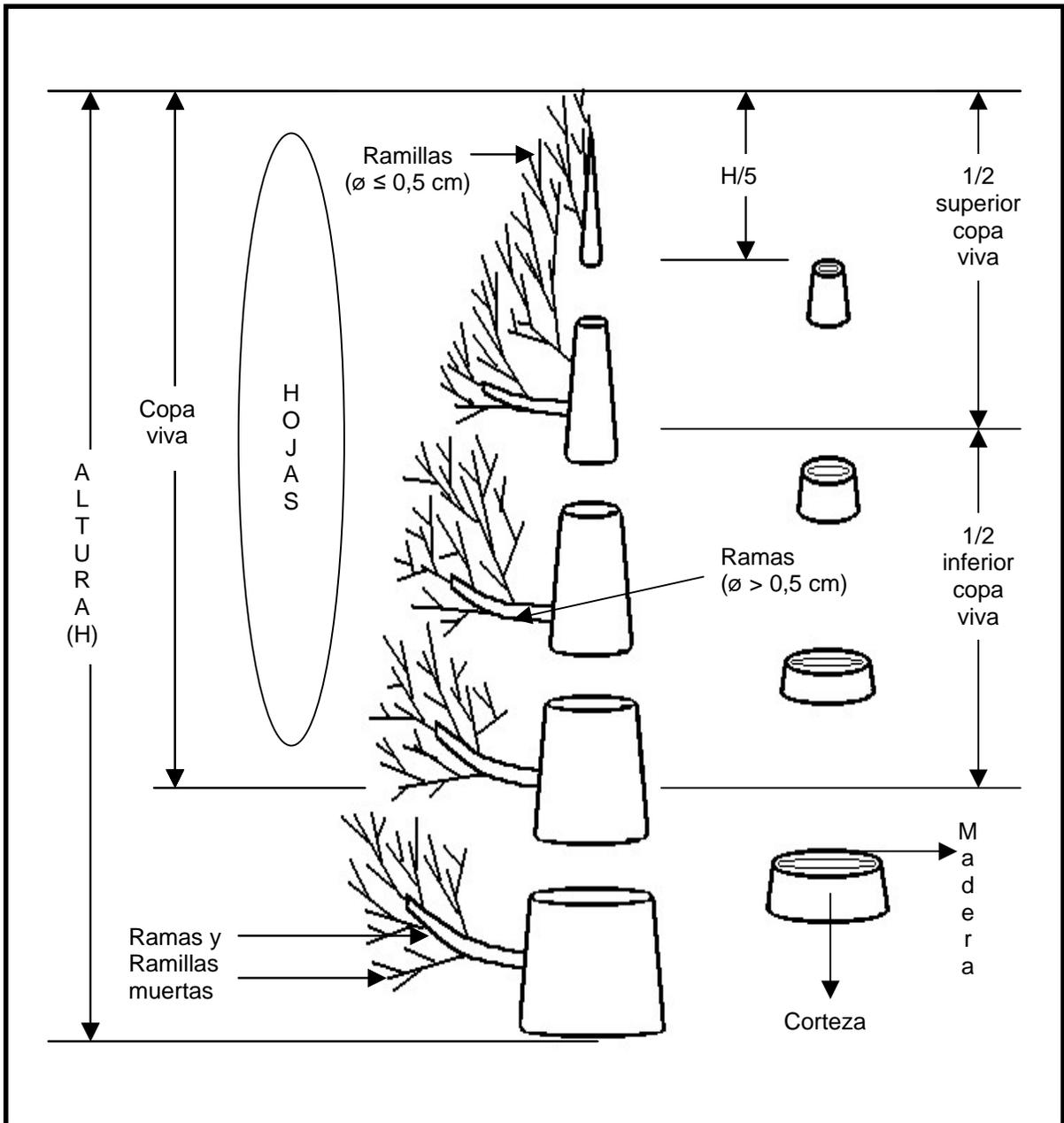


Figura 1. Esquema de las secciones definidas y sus componentes.

3.3 Metodología de laboratorio

Las muestras fueron llevadas al laboratorio, donde fueron separados y pesados cada uno de los componentes. La copa viva se dividió en hojas, ramillas ($\leq 0,5$ cm de diámetro) y ramas ($> 0,5$ cm de diámetro). La copa muerta sólo en ramas y ramillas; mientras que el fuste fue dividido en madera y corteza, según lo esquematizado en la figura 1. Posteriormente se procedió a extraer dos submuestras de cada componente por sección de los 15 árboles. El tamaño de la submuestra varió entre 10 y 20 g.

Las submuestras fueron utilizadas para la obtención del peso seco, para lo cual se utilizó un proceso de secado a baja temperatura (60° C) para evitar la volatilización de los compuestos nitrogenados y algunos compuestos aromáticos (Anderson *et al*, 1993). El proceso de secado se llevó a cabo hasta obtener peso constante.

3.4 Cálculos de biomasa

3.4.1 Peso húmedo corregido

En los casos en que la suma de los pesos de cada componente de las muestras llevadas al laboratorio no fueron iguales al peso registrado en terreno, debido a una pequeña pérdida de humedad (< 10% de peso) se calculó el porcentaje de humedad perdida, para poder así aplicar el porcentaje de peso faltante a cada componente de las muestras. En caso de que la suma fuese mayor, debido a la poca precisión de las balanzas utilizadas en terreno se aplicó el promedio porcentual de las pérdidas de humedad, al peso obtenido en laboratorio.

Para el cálculo del porcentaje de pérdida de humedad se aplicó las siguientes fórmulas:

Para las muestras de la copa:

$$X = 100 - \frac{PhH + Phr + PhR}{PHM} \times 100 \quad (1)$$

Para las muestras del fuste:

$$X = 100 - \frac{PhC + Phm}{PHM} \times 100 \quad (2)$$

Donde: X = porcentaje de pérdida de humedad de las muestras (%).
PhH = peso húmedo de las hojas (kg).
Phr = peso húmedo de las ramillas (kg).
PhR = peso húmedo de las ramas (kg).
PHM = peso húmedo de la muestra (kg).
PhC = peso húmedo de la corteza (kg).
Phm = peso húmedo de la madera (kg).

Para la obtención del peso corregido (PC) de cada componente de las muestras y las submuestras se procedió a agregar el porcentaje de pérdida de humedad de la muestra correspondiente mediante una regla de tres.

3.4.2 Participación de cada componente de las muestras húmedas

Para los componentes de la copa de cada sección se utilizó la siguiente expresión:

$$H = \frac{PC}{PHM} \times 100 \quad (3)$$

Donde: H = Porcentaje de participación de un componente de las muestras húmedas (%).

PC = Peso húmedo corregido de un componente (kg).

PHM = Peso húmedo de la muestra (kg).

Posteriormente el valor de H se aplicó al peso total de una sección del árbol para estimar el peso total del componente en una sección.

Para el caso de los componentes del fuste, el porcentaje de participación de un componente se obtuvo de la misma forma que para los componentes de la copa, con la diferencia que la participación de cada uno de los elementos del fuste (madera y corteza) varían en altura, para lo cual se procedió a calcular una media ponderada en función del diámetro al cuadrado de las rodela, para cada árbol. De esta forma se obtiene un porcentaje de participación que refleja el comportamiento medio del fuste.

Para los componentes del fuste:

$$\bar{H} = \frac{\sum(H_i \times D_i)}{\sum D_i} \quad (4)$$

Donde: \bar{H} = Media ponderada del porcentaje de participación de un componente de las muestras húmedas (%).

H_i = Porcentaje de participación por componente de una rodela para cada árbol de las muestras húmedas (%).

D_i = Diámetro cuadrático de una rodela (cm²).

i = 1 a máximo 4 rodela por árbol.

De la misma forma que para los componentes de la copa, \bar{H} se aplica al peso total del fuste, obteniendo de esta forma el peso total de los componentes.

3.4.3 Relación peso seco / peso húmedo medio porcentual

Una vez que las submuestras llegaron a peso constante, fueron pesadas. Con ello se obtuvo el cociente peso seco / peso húmedo. Los resultados obtenidos en ambas submuestras de cada componente de una sección de un árbol fueron promediadas, obteniendo así la relación media (Z).

Para el caso de los componentes del fuste, primero se procedió a obtener la relación media por rodela (Z). Posteriormente, los valores de Z de las rodela de un árbol, fueron promediados en forma ponderada considerando el diámetro cuadrático de las rodela.

Para los componentes del fuste:

$$\bar{Z} = \frac{\sum (Z_i \times D_i)}{\sum D_i} \quad (5)$$

- Donde: \bar{Z} = Relación media ponderada peso seco / peso húmedo, para un componente.
 Z = Relación peso seco / peso húmedo medio porcentual, para un componente de una rodela.
 D_i = Diámetro cuadrático de una rodela (cm²).
 i = 1 a máximo 4 rodelas por árbol.

3.4.4 Obtención de la biomasa aérea total por árbol y por hectárea.

Para la obtención del peso seco total de un componente para una sección de un árbol se utilizó el cociente Z correspondiente, con relación al peso húmedo total de la sección. Para el caso de los componentes madera y corteza, se utilizó la relación media ponderada al peso total del fuste.

Para obtener la biomasa aérea total del árbol (BT), fueron sumados los pesos secos totales de los componentes de cada sección de un árbol. Para obtener la biomasa por hectárea se utilizó la biomasa aérea total media multiplicada por el factor de expansión correspondiente (2.075).

3.4.5 Obtención de los porcentajes de participación de los componentes

Una vez obtenido los valores de biomasa aérea total (BT) se calcularon los porcentajes de participación de los componentes por sección con respecto a la biomasa total. Para la obtención del porcentaje de participación total de un componente en un árbol se sumó los porcentajes de participación obtenidos en cada una de las secciones del árbol.

3.4.6 Análisis estadístico de los porcentajes de participación de los diferentes componentes de las distintas clases diamétricas.

La definición de los grupos a comparar se efectuó observando las diferencias que presentaba la participación de los diferentes componentes, obteniendo dos grupos conformados con un número de individuos semejantes. Las clases diamétricas resultantes fueron [6,5-8] y]9-14,3] centímetros de DAP. Para confirmar si las diferencias son estadísticamente verdaderas se aplicó la prueba de Student (con un nivel de significancia de un 5%), ya que permite hacer las comparaciones sugeridas por la inspección de las medias de los tratamientos, permitiendo que el número de cada tratamiento no sea igual (Taucher, 1997). Para lo cual se deben plantear las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula = los porcentajes medios de participación del componente son iguales entre ambas clases diamétricas.

- Hipótesis alternativa = los porcentajes medios de participación del componente son diferentes entre ambas clases diamétricas.

Para que la hipótesis alternativa sea aprobada el valor de t-tabulado deberá ser menor al valor absoluto de t-calculado.

3.4.7 Ajuste de modelos matemáticos estimadores de la biomasa

Existen métodos para estimar la biomasa individual y total del rodal, para lo cual se utilizan variables predictoras. Las variables de mayor éxito han sido el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol o la combinación de ambas.

Para la estimación de la biomasa existente en la copa y sus componentes en general no se han logrado resultados satisfactorios, debido a los elevados errores de estimación (Rodríguez, 1989). Por este motivo se ajustaron modelos predictores de biomasa aérea total de un árbol en función del DAP y altura total (HT), ya que la estimación de los componentes de la biomasa se calculó mediante los porcentajes medios obtenidos.

Para la estimación de la biomasa total aérea se ajustaron los siguientes modelos matemáticos, mediante la utilización de regresión lineal, utilizando el programa estadístico SYSTAT 5.03 para Windows, Copyright 1990-1993 por SYSTAT Inc. , teniendo como referencia experiencias anteriores (Garcinuño, 1995) en los cuales se utilizaron variables independientes como DAP, DAP^2 y HT:

$$BT = b_1 \times DAP^2 \times HT + b_2 \times DAP \quad (6)$$

$$BT = b_1 \times DAP^2 \times HT \quad (7)$$

$$BT = b_1 \times DAP + b_2 \times HT \quad (8)$$

$$BT = b_1 \times DAP^2 + b_2 \times DAP \quad (9)$$

Donde: BT = Biomasa total (kg).
 DAP = Diámetro a 1,3 m de altura (cm).
 HT = Altura total del árbol (m).
 b = Coeficientes.

Para definir cuál de las funciones cumple mejor su objetivo de estimar la biomasa total se estableció que la función que presente el valor de ajuste (R^2) más cercano al 100% y en caso que existan dos o más funciones con igual bondad de ajuste se seleccionó la función con menor error de estimación (EE).

4. RESULTADOS

4.1 Cantidades de biomasa.

Los estadísticos descriptivos obtenidos son mostrados en el Cuadro 2. La media del DAP, la altura y la biomasa total son más cercanas al máximo, debido a que el valor mínimo es representado por un solo árbol cuyo DAP es de 3,4 cm, seguido por árboles con DAP igual o superior a 6,5 cm. Las medias de los componentes de la biomasa aérea se comportan de igual forma que el DAP, siendo más evidente en las ramas, ramillas y hojas. Con respecto a los coeficientes de variación los componentes de la biomasa son los que presentaron los valores más altos, siendo las hojas el componente que presentó una mayor variación.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de la muestra obtenida del rodal (n=15).

	Mínimo	Máximo	Media	Coefficiente de variación (%)
DAP (cm)	3,40	14,30	9,60	35,4
Altura total (m)	3,30	6,70	5,50	18,4
Biomasa total (kg)	1,42	39,44	19,81	58,6
Hojas (kg)	0,20	8,78	3,69	65,2
Ramillas (kg)	0,10	3,94	1,85	52,3
Ramas (kg)	0,08	9,19	4,77	61,5
Corteza (kg)	0,14	2,13	1,18	59,0
Madera (kg)	0,88	16,53	8,30	61,6

Los valores medios expandidos a la hectárea son mostrados en el Cuadro 3. Se observa que el principal componente es la madera, sin embargo la suma de los componentes de la copa son levemente superiores a los componentes del fuste.

Cuadro 3. Biomasa aérea de los componentes.

Componente	t/ha	Total (t/ha)
Hojas	7,66	20,41
Ramillas	3,85	
Ramas	9,90	
Madera	17,23	19,69
Corteza	2,46	
Biomasa total		41,11

La función estimadora de biomasa aérea total que presentó un mejor ajuste al comportamiento de la muestra correspondió al modelo (9) y es presentada en la figura 2, junto al valor de ajuste y el error de estimación obtenido. La función ajustada es representada con una curva y los puntos representan la muestra obtenida.

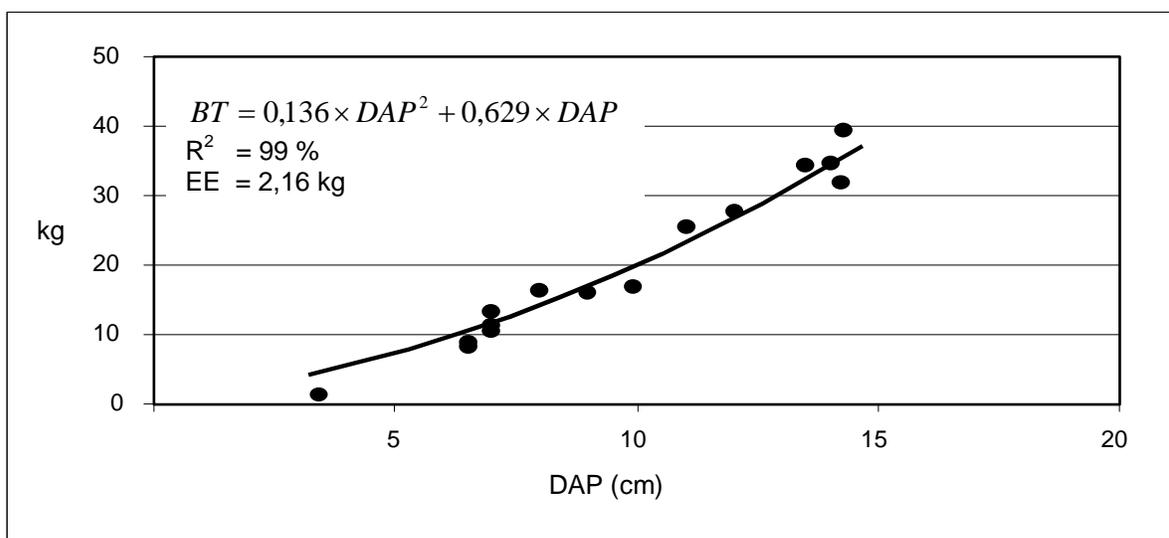


Figura 2. Relación entre la biomasa aérea total por árbol y el DAP.

La estimación de la biomasa aérea total del árbol de DAP medio, a través de la función ajustada con el modelo (9), arrojó un valor de 18,57 kg, que es 1,2 kg (6,3%) menor (subestimación) con respecto al valor medio informado en el cuadro 2. Sin embargo al efectuar la estimación con el diámetro medio cuadrático (DMC=10 cm) se obtiene 20,29 kg de biomasa total, lo que sobrestima el valor en un 2,3% (0,48 kg). En una hectárea, utilizando el valor de biomasa total obtenido mediante el DAP medio, el valor calculado difiere aproximadamente en dos toneladas y media (menor) al valor obtenido y señalado en el cuadro 3, pero al utilizar el DMC (método considerado más preciso) se obtiene una diferencia menor a una tonelada. Los modelos que fueron ajustados se muestran en el Anexo 7, con sus respectivos valores de ajuste y errores de estimación.

En la Figura 3 se aprecia en detalle al comportamiento de los componentes. La madera y las ramas son los que presentan una mayor pendiente a lo largo de su curva. Por el contrario las pendientes de las curvas de la corteza y ramillas son suaves, por lo que el aumento de biomasa de estos componentes al incrementar el DAP es bajo. Esto se ve reflejado en los porcentajes de participación de los componentes a medida que aumenta la biomasa (Figura 4). La biomasa de las hojas, registra niveles superiores a las ramas en los individuos con diámetros menores, esto se revierte en los individuos con diámetros superiores a los 8 cm de DAP. En los casos en que existía más de un árbol con un mismo diámetro (dos de 6,5 cm y tres de 7 cm), los valores fueron promediados para facilitar su observación.

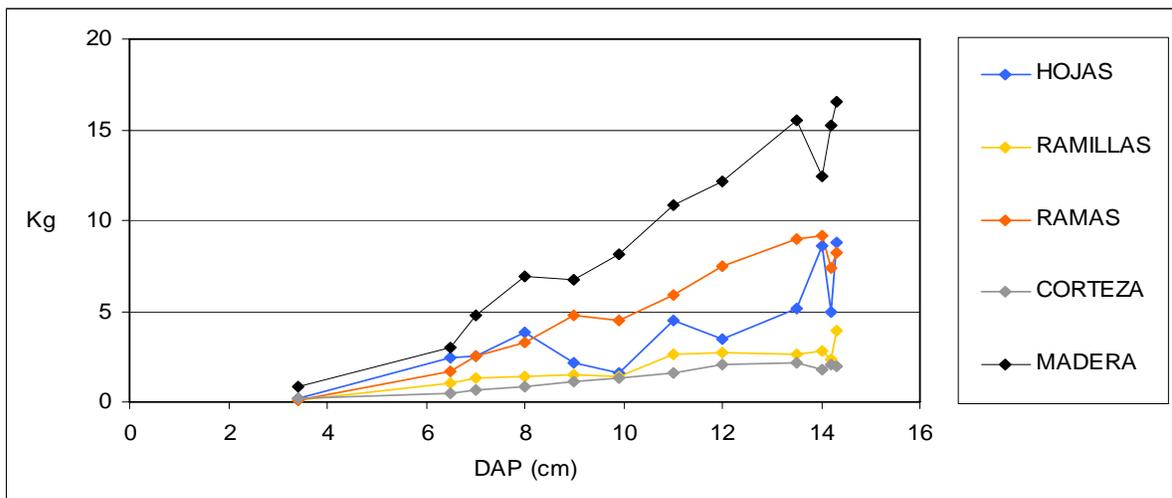


Figura 3. Biomasa de los componentes en función del diámetro.

4.2 Porcentajes de participación de los componentes.

Los estadísticos descriptivos de la población obtenida se muestra en el Cuadro 4, en donde nuevamente la media es más cercana a la máxima, por la razón ya explicada en el punto 4.1. Respecto a los coeficientes de variación, las hojas presentan el valor más alto, siendo la madera el componente de menor variación.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de los porcentajes de participación de los componentes.

%	Mínimo	Máximo	Media	Coefficiente de variación (%)
Hojas	9,21	32,49	19,17	31,4
Ramillas	7,24	12,73	9,63	19,1
Ramas	6,29	29,40	22,07	26,7
Corteza	4,93	9,85	6,23	21,4
Madera	34,20	62,27	42,88	16,1

Las tendencias que presentan los diferentes componentes a lo largo de la distribución diamétrica se observan en la Figura 4. La corteza y ramillas presentan una leve tendencia a disminuir, mientras que la madera y ramas tienden a aumentar. Para el caso de las hojas, presentan una disminución en los diámetros medios. Se observa una anomalía en los porcentajes de los componentes para el árbol con diámetro de 3,4 cm, que presenta una pequeña participación de la copa y un excesivo porcentaje de madera, debido a que se trata de un árbol suprimido.

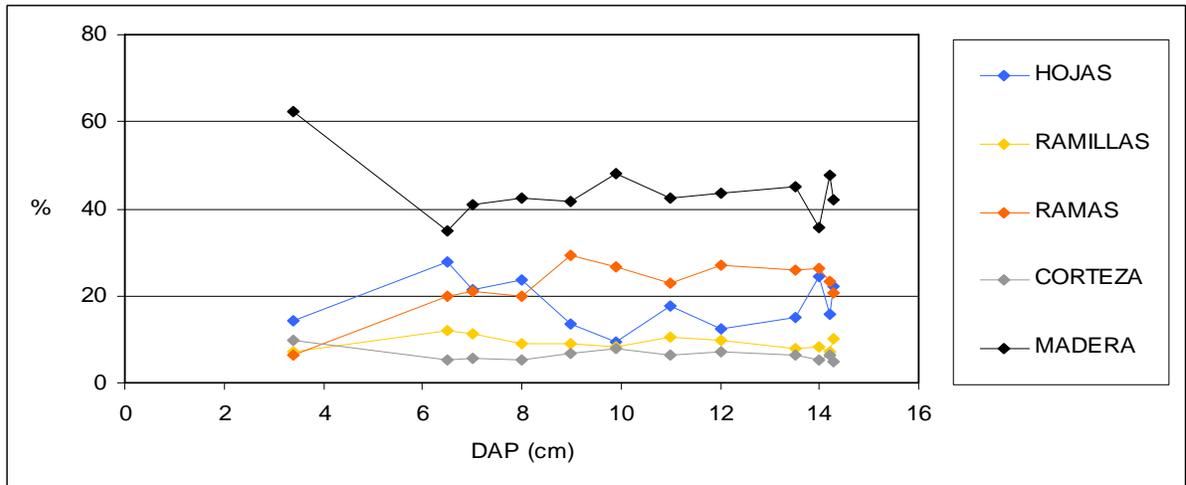


Figura 4. Porcentaje de participación de los componentes en función del diámetro.

En la Figura 5 se observan las proporciones de los componentes para cada árbol de la muestra y la variación existente para un mismo DAP, los que fueron ordenados por altura. Los valores son mostrados en el Anexo 4.

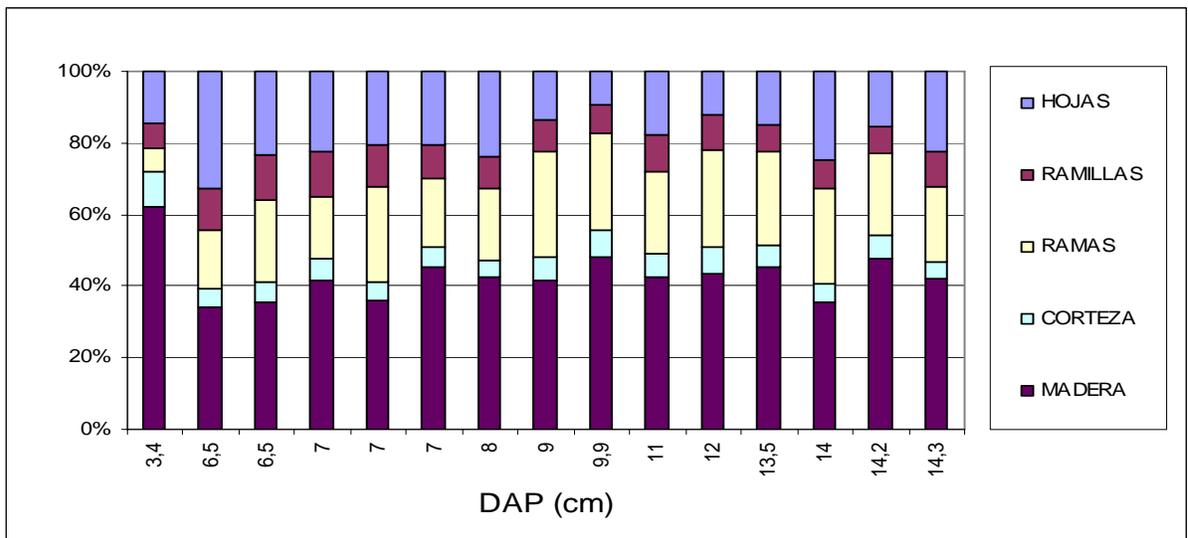


Figura 5. Porcentaje de participación de los componentes de cada árbol.

Al comparar los valores medios de participación de los componentes, agrupados en dos clases diamétricas (excluyendo el árbol con DAP de 3,4 cm), se aprecia que en la clase diamétrica mayor existe un aumento en la participación de madera, corteza y ramas, disminuyendo los porcentajes de hojas y ramillas con respecto a la clase diamétrica menor (figura 6).

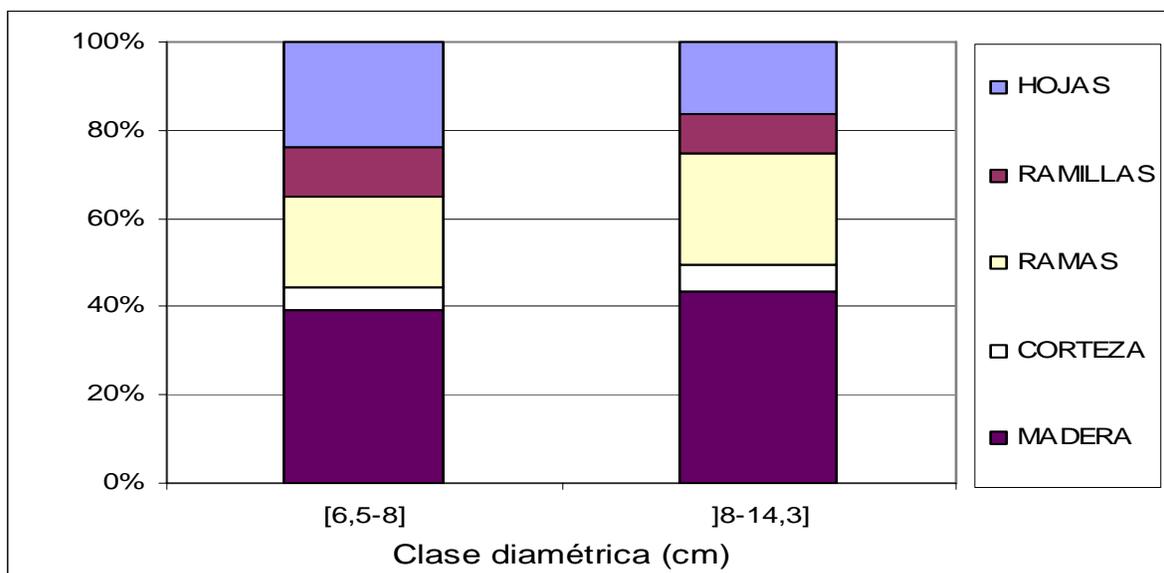


Figura 6. Participación de los componentes de la biomasa aérea por clase diamétrica.

Las diferencias encontradas en las proporciones de los componentes de la biomasa aérea entre ambas clases diamétricas son estadísticamente significativas ($p < 0,05$). En el cuadro 5 son mostrados los valores de t-calculado, en donde se observa que todos los valores (absoluto) calculados son mayores al tabulado.

Cuadro 5. Valores de t-calculado para cada componente.

$\alpha=0,05$ $n-2=12$; $t\text{-tab}=1,782$	Hojas	Ramillas	Ramas	Corteza	Madera
t-cal	2,946	3,087	-2,720	-2,100	-1,863

En la figura 7 se observa el comportamiento de los componentes para las distintas secciones del árbol, descritas en la figura 1. A mayor diámetro las ramas inferiores tienden a aumentar su participación, al igual que las ramas superiores pero en menor grado. Al contrario de las ramillas y hojas, que presentan una disminución en su participación al aumentar en diámetro, para ambas secciones. Para el caso de las ramas y ramillas secas no se observa algún patrón definido.

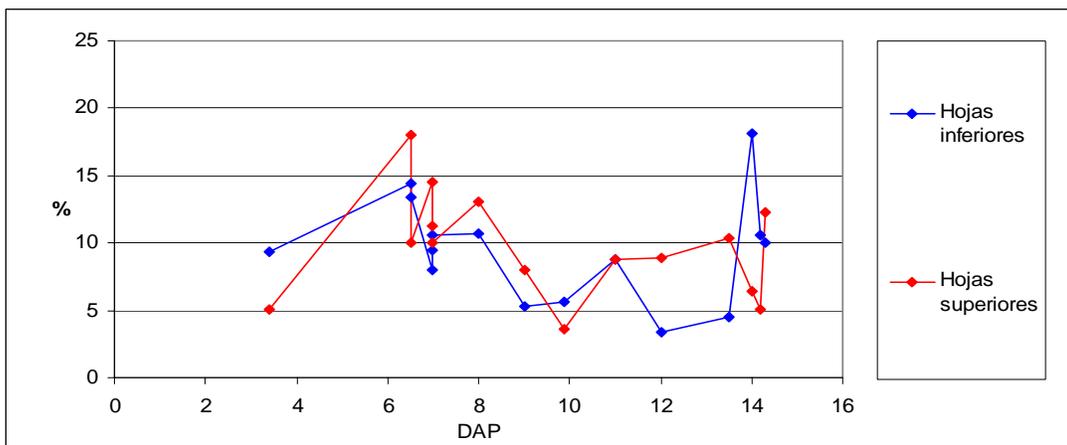
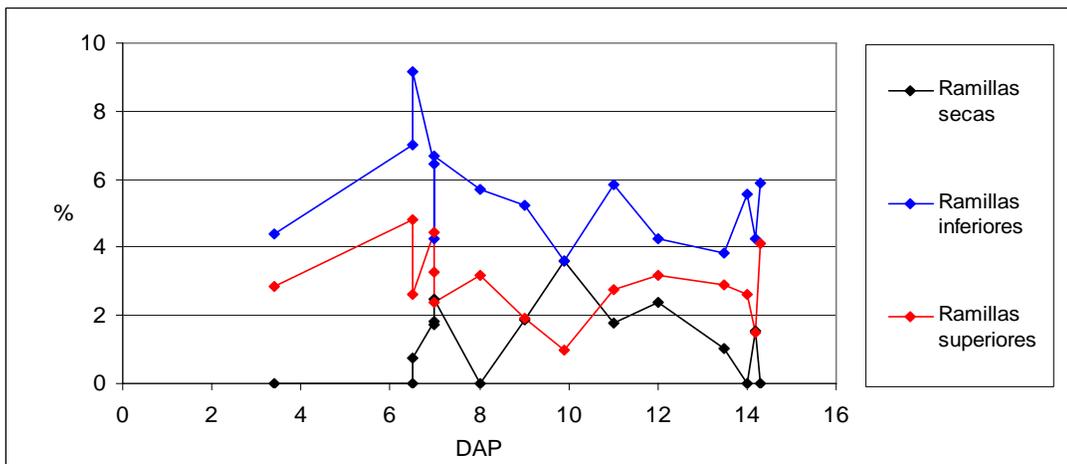
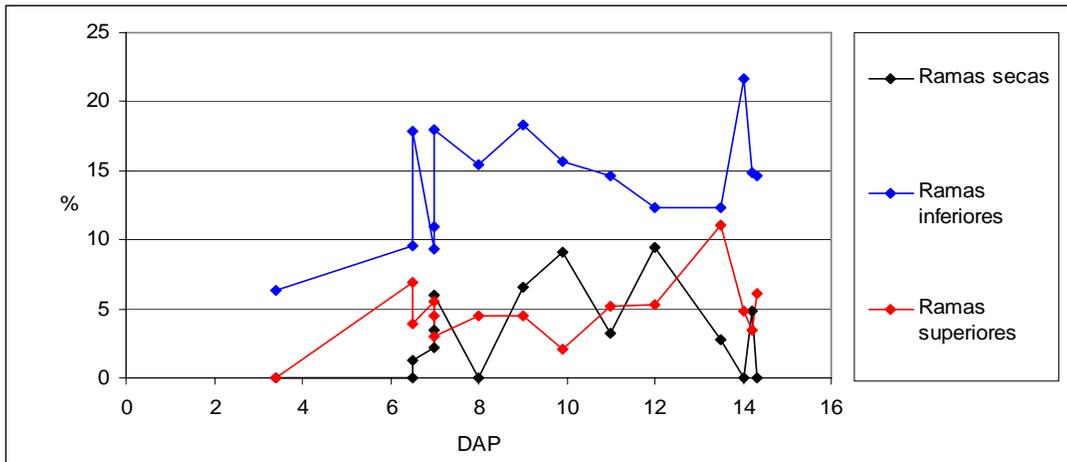


Figura 7. Participación de los componentes por sección.

En la figura 8 se comparan los valores medios de participación de los componentes de cada sección, para las dos clases diamétricas definidas en la figura 6 (excluyendo el árbol con DAP de 3,4 cm). Se observa una disminución en la participación de las ramillas y hojas de las secciones superiores e inferiores para la clase diamétrica mayor, contrario al comportamiento de las ramas que presentan un aumento en su participación en ambas secciones.

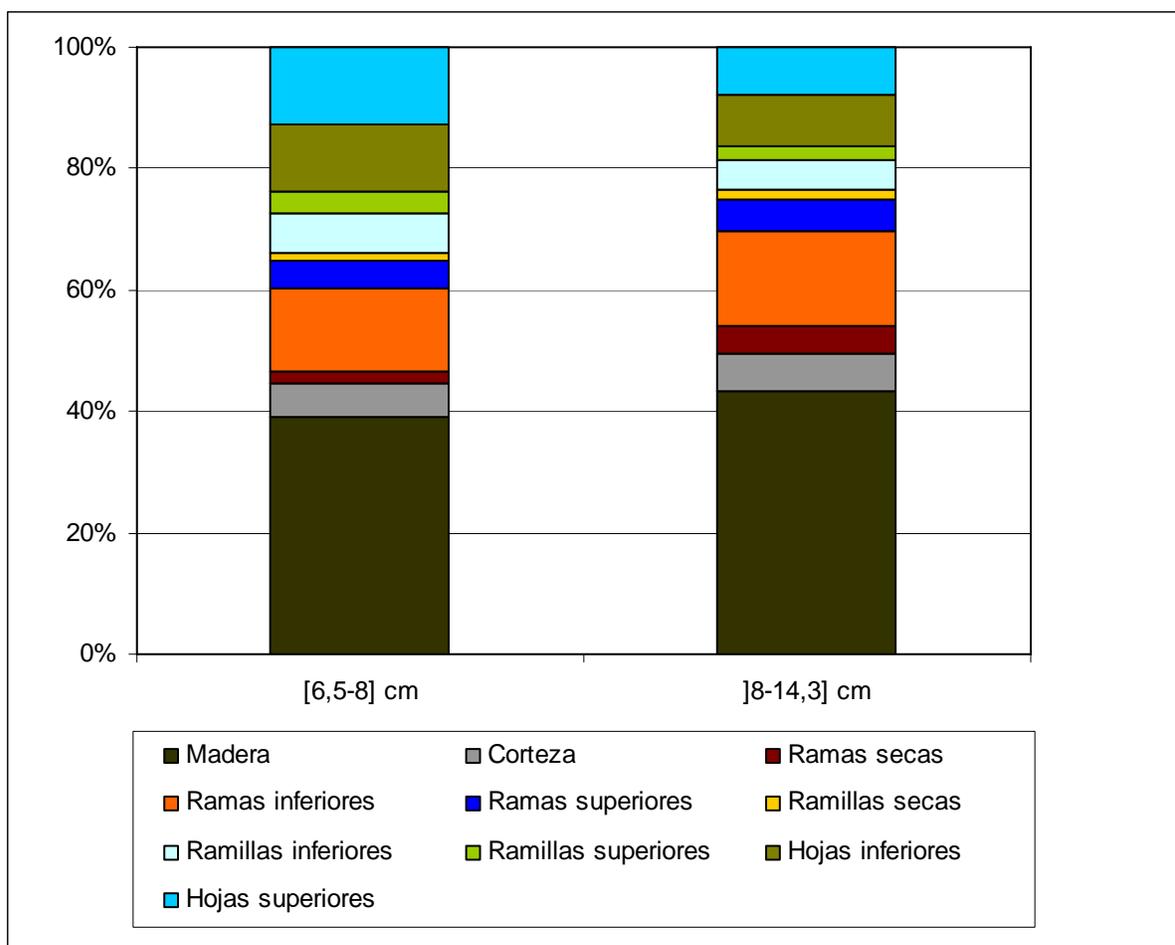


Figura 8. Participación de los componentes de la biomasa aérea por sección, para cada clase diamétrica.

La disminución de la participación de las ramillas en ambas secciones y de las hojas en la sección superior, son las únicas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) ya que sus valores absolutos de t-calculado son mayores al tabulado. Los valores de t-calculado son mostrados en el cuadro 6.

Cuadro 6. Valores de t-calculado para las secciones de cada componente.

$\alpha=0,05$ $n-2=12$; $t\text{-tab}=1,782$	Ramas secas	Ramillas secas	Ramas inferiores	Ramillas inferiores
t-cal	-1,35	-0,66	-1,06	2,56
$\alpha=0,05$ $n-2=12$; $t\text{-tab}=1,782$	Hojas inferiores	Ramas superiores	Ramillas superiores	Hojas superiores
t-cal	1,31	-0,49	1,79	3,08

5 DISCUSIÓN

Para realizar el análisis de los datos obtenidos, es importante conocer las características de los árboles de la muestra y observar el comportamiento de las variables, ya que es necesario identificar aquellas muestras que no siguen las tendencias generales de la población. Es por ello que para obtener los valores medios de participación de los componentes, se excluyó el árbol con DAP de 3,4 cm por presentar condiciones de escaso desarrollo (Figura 4 y 5) por su condición de suprimido. Teniendo en cuenta que el rodal es coetáneo, el individuo cuyo DAP es igual a 3,4 cm es un árbol propenso a morir, lo cual queda reflejado en una baja participación de hojas (figura 4 y 5). Sin embargo, para la obtención de biomasa aérea por hectárea y ajuste de funciones, fue considerado, ya que la existencia de individuos suprimidos en el rodal debe ser representado a pesar que su aporte en materia seca es pequeño.

Los coeficientes de variación (cuadro 2) que presentaron los componentes de la biomasa fueron superiores al 50%. Por su parte, la altura total presentó la menor variación (< 20%). La gran variación que presentó la materia seca de los componentes se debe principalmente a la variación del DAP (< 40%), posible variabilidad genética (plantas obtenidas de semillas), diferencias de micro-sitio (especialmente por competencia). Dichas fuentes de variación pueden causar diferencias en la estructura de las copas.

Comparando los valores medios de materia seca obtenida por Aparicio (2001) en *Eucalyptus nitens*, con la obtenida en el rodal de *Austrocedrus chilensis*, en donde los DAP medios comparados no difieren en gran medida, se aprecian diferencias por sobre el doble a lo obtenido para *Austrocedrus chilensis*. Esto es explicado principalmente por la diferencia en altura que presentan ambas especies, presentando *Eucalyptus nitens* una altura cercana al doble que la registrada para *Austrocedrus chilensis*.

La cantidad de materia seca producida anualmente por *Austrocedrus chilensis* en el rodal de estudio (2 t/ha.año), es claramente inferior a la obtenida en estudios de *Pinus radiata* en sitios semejantes. Para esta especie, en sitios de mala calidad (IS < 25) se obtuvo 8 t/ha.año y 16 t/ha.año en sitios de buena calidad (IS > 30) (Gerding, 1991), lo que denota el escaso desarrollo que presenta *Austrocedrus chilensis* bajo las condiciones de sitio en las cuales fue establecido el rodal, que no corresponden a los requerimientos una especie xérica.

Considerando que el rodal se encuentra en las etapas de mayor crecimiento (Goya *et al*, 1998) y que en bosques que se encuentran en un estadio maduro y completamente poblado se obtienen valores de incrementos en biomasa anuales levemente mayores (Ferrando *et al*, 2001), se afirma que el desarrollo de ésta especie en el rodal es deficiente, lo cual se atribuye a las condiciones de alta y prolongada humedad en el suelo, debido al mal drenaje por la topografía existente,

considerando que el sitio no presenta otra característica que pueda restringir mayormente su desarrollo.

Con respecto al comportamiento de los componentes, en las figuras 3 y 4 se puede apreciar que los árboles con menor diámetro presentaron un mayor aporte de biomasa de hojas con respecto a las ramas. Al aumentar el diámetro la situación se revierte, las ramillas presentaron un leve aumento, debido a que éstas con el tiempo incrementan su diámetro. Las ramas, por su parte, presentan un fuerte aumento debido al aporte de biomasa de las ramillas que incrementaron sus diámetros alcanzando la medida considerada como ramas ($\varnothing \geq 0,5$ cm) y por el crecimiento de las ramas ya existentes.

Los cuadros 3 y 4 muestran que la biomasa de los componentes de la copa superan levemente a los componentes del fuste, lo que se refleja en los porcentajes de participación de los componentes con respecto a la biomasa aérea total (figura 4). Esto difiere a experiencias en bosque adulto de *Eucalyptus globulus* en que el fuste supera notoriamente a los componentes de la copa, observándose resultados similares en *Abies sp.*, *Populus sp.* (Garcinuño, 1995) y en bosques maduros de *Austrocedrus chilensis* (Ferrando *et al*, 2001).

Los valores medios de participación de los componentes (cuadro 4), indican que el principal componente es la madera, seguido por las ramas. Las ramillas presentan sus máximos valores cuando las ramas presentan su menor participación, es decir, en los diámetros menores. Esto se debe a que los árboles más pequeños presentan casi todas sus estructuras leñosas con diámetros inferiores a 0,5 mm. La participación porcentual de madera es casi constante, presentando un aumento casi insignificante, es decir que la biomasa incrementada es casi proporcional a los aumentos por la suma de los componentes restantes.

Al agrupar la muestra en dos clases diamétricas se pueden observar con mayor facilidad las diferencias, mostrando un aumento significativo ($p < 0,05$) en la proporción de ramas, madera y corteza en la clase diamétrica mayor. En este caso las ramas corresponden al componente que mostró un mayor aumento. Las ramillas y hojas disminuyen su participación al aumentar en clase diamétrica (Rodríguez 1989), es decir, al aumentar en diámetro la relación de biomasa copa/fuste disminuye, sin descartar una posible asíntota en diámetros superiores a los estudiados, observando una estabilización en los porcentajes de participación de los componentes (Garcinuño, 1995).

En condiciones de competencia los componentes ramas, ramillas y hojas en la sección inferior debieran disminuir en las clases diamétricas superiores. Pero para el caso de las ramas (figuras 7 y 8) sucede lo contrario. Esto no ocurre para las hojas y ramillas, lo cual puede indicar una baja competencia espacial aérea. En el cuadro 6 se confirma estadísticamente la disminución de las ramillas en ambas secciones y el de las ramas en la sección superior para la clase diamétrica superior.

Al analizar el comportamiento y proporción de los componentes, se confirma que el rodal en estudio no presenta las condiciones de un bosque maduro (Ferrando *et al*, 2001) y que la competencia existente en él es aún baja, considerando que incluso los ejemplares de mayor tamaño presentan una alta partición de los componentes de la copa y que la sección inferior de éstas tienen aun un rol activo.

6 CONCLUSIONES

- Todos los modelos lineales utilizados para estimar la biomasa aérea por árbol presentaron altos valores de ajuste, obteniendo un mejor resultado con el modelo ajustado $BT = 0,136DAP^2 + 0,629DAP$ ($R^2=99\%$ y $EE=2,16$ kg), debido a su mejor ajuste y menor error de estimación. Además presenta facilidad y rapidez en la obtención de datos en terreno.
- La madera fue el componente de la biomasa aérea que presentó mayor participación de la biomasa total en todo el rango diamétrico estudiado. Las hojas presentaron una participación variable, siendo la corteza el componente con menor participación.
- Los porcentajes de participación de los componentes de la biomasa aérea presentaron una gran variabilidad, por lo que es importante agrupar en clases diamétricas.
- En la clase diamétrica superior la participación de madera, corteza y ramas fue mayor, en cambio la de hojas y ramillas disminuyeron.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J ; Ingram, J. 1993. Tropical soil biology and fertility; A hand book of methods. C.A.B. Internacional U.k. 221 p.
- Aparicio, J. 2001. Rendimientos y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 234 p.
- Baeza, V.; Garín, A. 1942. Las Coníferas Chilenas. Prensa de la Universidad de Chile. 47 p.
- CIREN. 1999. Descripción de suelos materiales y símbolos, estudio agrológico de la Provincia de Valdivia, Décima Región. Santiago, CIREN. 196 p.
- Dondero, J. 2001. Evaluación de crecimiento en plantación mixta de *Pseudotsuga menziesii* mirb. Franco con *Acacia melanoxylon* R. Br en el fundo Las Palmas, provincia de Valdivia. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 76 p.
- Donoso, C. 1998. Bosques templados de Chile y Argentina; Variación, estructura y dinámica. 4 ed. Santiago, Universitaria. 483 p.
- Droppelmann, J. 1986. Evaluación de un ensayo de procedencia de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) de 17 años de edad (fundo Las Palmas, Valdivia). Tesis Ing.For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac de Cs. Forestales. 58 p.
- Ferrando, J; Goya, J; Barrera, M; Yapura, P; Frangi, J. 2001. Biomasa y productividad aérea de bosques de *Austrocedrus chilensis* en Río Negro, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. 104(2): 139-149.
- Garcinuño, J. 1995. Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* (lab.) en la costa de Valdivia X región. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 76 p.
- Gerding, V. 1991. *Pinus radiata* – Plantagen in Zentral Chile: Standortfaktoren der Produktivität und Nährstoffverteilung in Beständen. Tesis Doc. Cs. For. Alemania. Universidad de Göttingen. 182 p.
- Goya, J; Yapura, P; Ferrando, J; Barrera, M; Arturo, M. 1998. Crecimiento individual y de rodales de *Austrocedrus chilensis* en El Bolsón, Río Negro, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. 103(2): 149-155.

- Grosfeld, J; Barthélémy, D. 2005. Variación arquitectural de *Austrocedrus chilensis* en función de sus principales tipos forestales en Argentina. *In: I Reunión sobre ecología, conservación y uso de los bosques de ciprés de la cordillera*. Esquel, Chubut (Argentina). Abril 28-30 de 2005. Argentina, CIEFAP. Pp. 89-95.
- Hoffmann, A. 1994. Flora silvestre de Chile; Zona araucana. 3 ed. Santiago, Fundación Claudio Gay. 258 p.
- Le Quesne, C. 1988. Caracterización de bosques de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* [D. Don] Florin et Boutelje), en Radal-7 Tazas, Séptima Región, Chile. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 66 p.
- Letourneau, F; Andenmatten, E; Schlichter, T. 2005. Modelo de simulación del crecimiento de árboles juveniles de ciprés de la cordillera bajo condiciones naturales de sombreado. *In: I Reunión sobre ecología, conservación y uso de los bosques de ciprés de la cordillera*. Esquel, Chubut (Argentina). Abril 28-30 de 2005. Argentina, CIEFAP. Pp. 109-114.
- Muñoz, F. 2002. Balance nutritivo de una plantación de *Eucalyptus nitens* (Dean & Maiden) Maiden de 7 años de edad en suelos ñadi. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 131 p.
- Pérez, V. 1983. Investigación y desarrollo forestal; Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, C.N.F. 47v. 451 p.
- Rodríguez, C. 1989. Producción potencial en sitios característicos para *Pinus radiata*. Tesis Ing.For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac de Cs. Forestales. 188 p.
- Sáez, M. 1991. Biomasa y contenido de nutrientes de renovales no intervenidos de Roble y Raulí en suelos volcánicos de la precordillera andina IX Región. Tesis. Ing.For. Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs Forestales. 75 p.
- Salinas, F.; del Fierro, P. 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile: recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Santiago. Publicaciones Lo Castillo. 420 p.
- Stange, R. 2004. Análisis de la distribución espacial de la mortalidad en una plantación de *Austrocedrus chilensis*, Valdivia, Chile. Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 23 p.
- Satoo, T.; Madgwick, H. 1982. Forest biomass. Forestry Science. Martinus Nijhoff /Junk publishers. London. 152 p.
- Taucher, E. 1997. Bioestadística. Santiago. Editorial Universitaria. 310 p.

Veblen, T.T., Burns, B.R., Kitzberger, T., Lara, A. & R. Villalba. 1995. The ecology of the conifers of southern South America. In: N.J. Enright & R.S. Hill. (Editors), Ecology of Southern Conifers Melbourne University Press, Melbourne, Australia. pp. 120-155.

ANEXOS

Anexo 1
Abstract

Biomass estimation for a plantation of 20 years from *Austrocedrus chilensis* located in Valdivia.

A basic requirement for understand the needs of a specie, is the knowledge of the biomass, therefore we proceeded, using a destructive method, to obtain it from 15 trees of *Austrocedrus chilensis* with a date of 20 years, located near Valdivia. Stablished the percentage of participation of each biomass component, the differences between diametric classes and mathematic functions for estimate the total aerial biomass were adjusted. The principal component of the biomass is the wood followed by the branches, leafs, lean branches and the bark. Concluding that the participation of wood, branches and bark increases in superior diametric classes, mean while the leafs and lean branches diminish. Between the mathematic functions for estimate the total aerial biomass, $BT = b_1 \times DAP^2 + b_2 \times DAP$ presented the best adjustment ($R^2 = 0,99$) and the minimal estimate error (EE = 2,16 kg).

Keywords: *Austrocedrus. chilensis*, biomass, percentage of participation, total aerial biomass function estimator.

Anexo 2
Inventario de la subpoblación en estudio

Nº Fila	DAP (cm)
1	7,7 5,1 22,3
3	8,4 9,9 2,6 8,2 7,3
5	13,3 2,4 8,5 9,4 12,9 12,4
7	9,3 9,8 8,1 7,6 8,7 10,6
9	4,9 12,5 12,5
11	14,4 10,5 8,4 4,4 8,9
13	7,5 9,8 11,5 11,2 11,4 8,2
15	14,8 9,5 8,2 13,5 10,8 9,5 12,5

Anexo 3
Formulario y datos de terreno

Nº Arbol	1	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	3,4	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		2,750	0,745	0,310	–
HT (m)	3,32	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,250	0,350	0,310	–
HCC (m)	1,79	0,212			
		0,057			
		--			

Nº Arbol	2	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	9,9	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		25,860	15,760	6,130	2,620
HT (m)	6,1	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,795	2,800	1,925	0,275
HCC (m)	1,42	0,735			
		0,205			
		0,220			

Nº Arbol	3	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	8	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		22,060	12,860	9,005	–
HT (m)	5,5	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,580	2,400	1,560	–
HCC (m)	–	0,555			
		0,305			
		0,230			

Nº Arbol	4	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	11	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		38,100	18,34	11,120	1,760
HT (m)	6,5	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		1,175	2,960	1,840	0,380
HCC (m)	1,04	0,895			
		0,930			
		0,235			

Nº Arbol	5	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	12	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		36,460	13,660	11,620	4,080
HT (m)	6,3	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		1,215	3,140	2,080	0,560
HCC (m)	0,85	0,850			
		0,565			
		0,440			

Nº Arbol	6	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	9	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		21,860	10,560	5,840	1,600
HT (m)	6,2	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		1,170	1,360	1,720	0,320
HCC (m)	0,9	0,465			
		0,465			
		0,260			

Nº Arbol	7	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	7	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		13,880	6,360	6,620	0,520
HT (m)	4,6	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,600	1,250	1,090	0,230
HCC (m)	0,42	0,540			
		0,410			
		0,190			

Nº Arbol	8	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	13,5	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		52,220	18,600	19,840	1,570
HT (m)	6,7	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		2,065	3,040	3,620	0,520
HCC (m)	1,05	1,705			
		0,738			
		0,460			

Nº Arbol	9	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	7	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		16,900	7,240	5,700	0,745
HT (m)	5,1	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,967	2,200	1,660	0,335
HCC (m)	0,7	0,495			
		0,335			
		0,230			

Nº Arbol	10	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	14,3	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		54,140	29,460	23,120	–
HT (m)	6,4	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		2,250	3,660	3,140	–
HCC (m)	–	1,420			
		0,970			
		0,510			

Nº Arbol	11	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	14,2	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		49,480	23,200	7,900	2,460
HT (m)	6,5	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		1,815	2,420	2,540	0,425
HCC (m)	1,25	1,445			
		1,080			
		0,454			

Nº Arbol	12	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	14	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		40,54	39,320	12,140	
HT (m)	5,47	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		2,289	5,03	1,440	-
HCC (m)	-	1,610			
		0,390			
		0,200			

Nº Arbol	13	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	6,5	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		9,840	6,600	6,440	-
HT (m)	4,37	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,410	1,220	1,060	-
HCC (m)	-	0,380			
		0,195			
		0,095			

Nº Arbol	14	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	6,5	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		10,180	9,140	4,080	0,220
HT (m)	4,2	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,625	1,240	1,060	0,220
HCC (m)	0,4	0,385			
		0,357			
		0,183			

Nº Arbol	15	Peso húmedo total (kg)			
DAP (cm)	7	Fuste	Ramas inferiores	Ramas superiores	Ramas secas
		14,960	10,700	5,600	1,400
HT (m)	4,7	Peso húmedo de las muestras (kg)			
		0,891	1,860	1,220	0,390
HCC (m)	0,82	0,440			
		0,235			
		0,123			

Anexo 4
Porcentajes de participación de los componentes de la biomasa aérea de cada árbol

DAP (cm)	HT (m)	BT aérea	%				
			Hojas	Ramillas	Ramas	Corteza	Madera
3,4	3,32	1,42	14,34	7,24	6,29	9,85	62,27
6,5	4,37	8,34	32,49	11,83	16,42	5,04	34,20
6,5	4,20	8,87	23,44	12,51	23,05	5,30	35,66
7,0	4,60	10,44	22,51	12,73	17,02	6,38	41,36
7,0	5,10	11,52	20,56	11,50	27,01	4,93	36,00
7,0	4,70	13,40	20,71	9,26	18,92	5,92	45,17
8,0	5,50	16,28	23,76	8,89	19,94	5,10	42,32
9,0	6,20	16,24	13,36	9,04	29,40	6,68	41,52
9,9	6,10	16,85	9,21	8,19	26,79	7,80	48,01
11,0	6,50	25,42	17,58	10,40	22,99	6,41	42,61
12,0	6,30	27,80	12,31	9,77	26,98	7,26	43,68
13,5	6,70	34,37	14,85	7,74	26,06	6,22	45,13
14,0	5,47	34,81	24,58	8,14	26,42	5,13	35,73
14,2	6,50	31,98	15,60	7,27	23,12	6,43	47,59
14,3	6,40	39,44	22,27	10,00	20,78	5,04	41,92

Anexo 5
Porcentajes medios de los componentes de la biomasa aérea según las clases diamétricas

Componentes de la biomasa aérea	Clase DAP (cm)	
	[6,5 – 8]]9 – 14,3]
Madera	39,12	43,27
Corteza	5,44	6,37
Ramas	20,39	25,31
Ramillas	11,12	8,81
Hojas	23,91	16,22

Anexo 6
Porcentajes medios por sección, de los componentes de la biomasa aérea
según las clases diamétricas

Componentes de la biomasa aérea	Clase DAP (cm)	
	[6,5 – 8]]9 – 14,3]
Madera	39,12	43,27
Corteza	5,44	6,37
Ramas superiores	4,72	5,30
Ramas inferiores	13,52	15,54
Ramas secas	2,15	4,48
Ramillas superiores	3,45	2,49
Ramillas inferiores	6,55	4,80
Ramillas secas	1,12	1,53
Hojas superiores	12,82	7,93
Hojas inferiores	11,10	8,29

Anexo 7
Modelos matemáticos ajustados, para estimar la biomasa aérea total

Modelos matemáticos ajustados:

$$(6) \quad BT = 0,017 \times DAP^2 \times HT + 0,98 \times DAP \quad (10)$$

Con $R^2 = 0,991$ y un error de estimación de 2,306 kg.

$$(7) \quad BT = 0,03 \times DAP^2 \times HT \quad (11)$$

Con $R^2 = 0,975$ y un error de estimación de 3,753 kg.

$$(8) \quad BT = 3,973 \times DAP - 3,281 \times HT \quad (12)$$

Con $R^2 = 0,989$ y un error de estimación de 2,62 kg.

$$(9) \quad BT = 0,136 \times DAP^2 + 0,629 \times DAP \quad (13)$$

Con $R^2 = 0,992$ y un error de estimación de 2,16 kg.

Donde:

BT = biomasa aérea total.
DAP = diámetro a 1,3 m del suelo.
HT = altura total.