

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN BIOMASA
AÉREA DE BOLDO (*Peumus boldus* Mol.) EN UN BOSQUE
ESCLEROFILO DE LA COMUNA DE MARIA PINTO, PROVINCIA DE
MELIPILLA, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

LEONARDO PATRICIO DURÁN GÁRATE

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dr., Sr. Sergio Donoso Calderón

SANTIAGO - CHILE

2005

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN BIOMASA
AÉREA DE BOLDO (*Peumus boldus* Mol.) EN UN BOSQUE
ESCLEROFILO DE LA COMUNA DE MARÍA PINTO, PROVINCIA DE
MELIPILLA, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

LEONARDO PATRICIO DURÁN GÁRATE

CALIFICACIONES:

Prof. Guía Ing. Forestal, Dr. Sergio Donoso C.	7,0
Prof. Consejero Ing. Forestal, Dr. Juan Caldentey P.	6,3
Prof. Consejero Ing. Forestal, Dr. Gustavo Cruz M.	6,3

SANTIAGO - CHILE

2005

*A mis padres,
hermanos,
y Xandra
quienes son lo más
importante en mi vida*

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que formaron parte en la construcción y desarrollo no solo de esta memoria, sino que en mi crecimiento personal y profesional, por esto muchísimas gracias.

*Para comenzar, el éxito de todo esto no hubiera sido posible sino es por el enorme apoyo y esfuerzo que realizaron mis padre **Alicia** y **Patricio**, a quienes les debo la vida, mis estudios y en parte lo que soy en estos momentos. Junto con ellos, mis hermanos **Alexis**, **Daniela** y **Javier** que en todo momento me aguantaron cuando andaba enojado producto de las pruebas y las traspasadas (por trabajos), y sobre todo cuando los hice que se volvieran locos extrayendo hojas de boldo en la casa y en la facultad, “les prometo que ya no las verán más”. Por esto y por muchas otras cosas de todo corazón GRACIAS POR TODO.*

*Capítulo aparte tiene mi profesor guía **Sergio Donoso**, que gracias a su apoyo, humor y confianza me hizo ver las cosas de un modo distinto. Por esto, más que un profesor lo considero un gran amigo, con el que podré contar en las buenas así como en las malas. De verdad me sentí muy orgulloso de haber sido su memorante, el de las hojas de boldo.*

No puedo dejar de lado a una enorme cantidad de amigos, que siendo de diferentes generaciones me hicieron pasarla “genial” durante todos estos años, en los partidos de fútbol en el equipo “todos por 5ª” formado por Andrés, Ricardo, Iván, Mauricio o las salidas a terreno (carrete) junto a David, Diego, Sebastián, Felipe. Algunos también les toco la maldición de sacar hojas y otros se corrieron, pero no importa. A ustedes y muchos que dejo sin nombrar infinitas gracias.

*Por último y no menos importante **Xandra** (mi negra) a quién amo demasiado y que me brindo su apoyo durante toda mi carrera incondicionalmente. Espero que en el camino que nos espera juntos nos sintamos apoyados mutuamente y con el amor que tenemos saltemos todas las vallas que nos pondrá la vida. Un abrazo y un besito por todo lo hecho.*

Que la fuerza los acompañe (Obi-Wan Kenobi, maestro jedi)

ÍNDICE

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Antecedentes generales del boldo	3
2.1.1 Distribución geográfica.....	3
2.1.2 Descripción botánica.....	3
2.1.3 Hábitat	4
2.1.4 Propagación y desarrollo vegetativo.....	4
2.2 Crecimiento en boldo	5
2.3 Biomasa.....	6
2.3.1 Métodos de estimación de biomasa	6
2.3.2 Biomasa en boldo.....	7
2.4 Antecedentes de productividad.....	9
2.5 Manejo silvicultural	10
2.6 Uso y cosecha	10
2.7 Comercialización	12
2.8 Consideraciones legales de la extracción de hojas de boldo	13
3. MATERIAL Y MÉTODO	14
3.1 Material	14
3.1.1 Área de estudio	14
3.1.1.1 Ubicación geográfica	14
3.1.1.2 Clima	15
3.1.1.3 Suelo	15
3.1.1.4 Vegetación	15
3.2 Método.....	16
3.2.1 Caracterización de la cosecha de boldo.....	16
3.2.2 Funciones estimadoras de biomasa	17

3.2.2.1 Selección de los sectores	17
3.2.2.2 Parcelas experimentales	18
3.2.2.3 Selección de la muestra	18
3.2.2.4 Obtención de los pesos secos.....	20
3.2.2.5 Jerarquización de las variables y ajuste regresional	20
3.2.2.6 Desarrollo de los modelos	20
3.2.2.7 Modelos ajustados y selección de los mejores	21
3.2.3 Determinación de la producción y productividad.....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Descripción de los sectores	22
4.2 Caracterización de la cosecha de boldo.....	22
4.3 Distribución diamétrica de los vástagos	26
4.4 Producción de biomasa a nivel de vástagos	27
4.4.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables	27
4.4.2 Ajuste de los modelos	28
4.4.3 Análisis de los residuos.....	30
4.4.4 Validación de los modelos seleccionados	32
4.5 Producción de biomasa a nivel de individuo	32
4.5.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables	32
4.5.2 Ajuste de los modelos	33
4.5.3 Análisis de los residuos.....	34
4.5.4 Validación de los modelos seleccionados	36
4.6 Comparación de la biomasa según modelos propuestos	36
4.7 Producción y productividad de biomasa	40
4.7.1 Producción de biomasa.....	40
4.7.2 Productividad media en biomasa.....	41
5. CONCLUSIONES	45
6. BIBLIOGRAFÍA.....	47
7. APÉNDICES	52

RESUMEN

El presente estudio consistió en evaluar la producción y productividad de biomasa aérea en una formación de boldo (*Peumus boldus* Mol.), ubicada en un predio de la Comuna de María Pinto, Región Metropolitana; formación que han sido intervenida durante los últimos años para la comercialización de sus hojas.

Se establecieron tres parcelas de 500 m² en sectores que presentaban intervenciones. En cada una, se posicionaron los individuos mediante coordenadas (x,y), realizando un levantamiento horizontal a los boldos. Se midió el diámetro de todos los vástagos de boldo en cada parcela; determinando además el número de vástagos, área basal, diámetros de copa y altura.

Se cosecharon 12 árboles en forma completa, extrayendo una muestra superior a los 200 vástagos. En cada uno se separaron las hojas y el fuste, que luego fueron secados en una estufa a aire forzado y posteriormente pesados para obtener los pesos secos correspondientes.

Para los vástagos, el peso seco de hoja, fuste y total obtenido de la muestra, se correlacionó con el largo y diámetro basal, determinando a esta última como la mejor variable (R^2 de 0,92) y la base de las funciones estimadoras de biomasa.

Estas funciones permitieron estimar la biomasa por componente de cada individuo. Los valores se correlacionaron con aquellas variables descriptivas medidas en terreno, concluyendo que el área basal, el diámetro mayor de copa y la altura serían utilizadas en la construcción de los modelos por componente a nivel de cepa.

Estos modelos como los de vástagos se validaron con el error cuadrático medio.

La producción de biomasa aérea para una densidad de 1.420, 580 y 480 árboles/ha es de 2,22; 1,29 y 1,22 t/ha de hojas y 8,76; 6,30 y 6,26 t/ha de fuste respectivamente.

Por su parte, la productividad media de un individuo es de 160 g de hoja y 300 g de fuste al año. Mientras que, la formación de boldo genera 196 kg/ha/año de hojas, 833 kg/ha/año de biomasa fustal y 971 kg/ha/año en biomasa total.

Palabras claves: Biomasa, Boldo, *Peumus boldus*, Productividad.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate both the production and the productivity of the biomass of a boldo forest (*Peumus boldus* Mol.), without including roots. The forest is located in the "Fundo Loleo", in the Maria Pinto District of the Metropolitan Region of Chile. In the recent years, the boldo leaves have been the main commercial production from this forest.

Three plots of 500 m² each were established in all the areas in which prior human intervention was noticed. To graphically describe the boldo harvesting, the boldo individuals were artificially positioned with a coordinate (x,y), so an horizontal transect of them was available. The diameters of all the boldo saplings were measured in each plot. With these data, diameters dispersion tables were built, so samples were selected to adjust the biomass equations. In addition, all the number of saplings, the basal area, the canopy diameter, and the height of each tree was measured.

Twelve whole boldo trees were harvested. From them, a sample of more than 200 saplings was obtained. Both the stem and the leaves of each sapling were dried in an oven and then weighed. Therefore, the dry weight of stems and leaves were obtained.

In order to develop biomass equations, the dry weight of all the leaves, stems, and the total biomass of the samples were correlated to the length and diameter of the saplings. As a result, the diameter was the best correlated variable ($R^2= 0,92$), so was chosen as a base for developing biomass estimate equations for saplings.

The determined biomass equations allowed the biomass estimation for each component of the saplings (leaves, stem, and total). The results were then correlated to descriptive variables measured in the field, such as basal area, the major canopy diameter, and the height. These variables were then used to built the biomass models for each component of the saplings.

The mean quadratic error was used to validate these models.

The biomass productions for boldo forests of 1.420; 580; and 480 trees per hectare were 2.22; 1.29; and 1.22 tons per hectare, and 8.76; 6.30; and 6.26 tons per hectare of stems, respectively.

On the other hand, the mean productivity of biomass of a boldo tree was of 160 grams of leaves, and 300 grams of stem per year. The boldo forest produces 196 kg/ha/year of leaves, 833 kg/ha/yr of stem biomass, and 971 kg/ha/yr of total biomass.

Keywords: Boldo, Biomass, *Peumus boldus*, Productivity.

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, las formaciones nativas han sido objeto del aprovechamiento por parte de la población para su desarrollo, situación que se ha mantenido en la actualidad, provocando en forma permanente que la vegetación presente algún grado de degradación, que modifica el paisaje y la ecología interna de aquellos bosques; generando un efecto directo sobre la productividad de las aquellas formaciones.

El tipo forestal esclerófilo, con un 2.0% de la superficie de bosques de nuestro país, ha sido cosechado intensamente debido a que la mayoría de las especies que lo componen presentan algún grado de interés comercial, ya sea por la extracción de productos maderables o no maderables (PFNM) Estos últimos han presentado un aumento en su demanda, principalmente por otros países que valoran considerablemente las características que poseen y los efectos que producen (CONAF, 1997).

Lo anterior, ha generado un aumento en la extracción de productos del bosque, sin considerar la sustentabilidad del recurso. Por lo tanto, es necesario desarrollar estudios que permitan por una parte la conservación de este en el tiempo y por otra dimensionar la capacidad productiva. Por ello, establecer esta capacidad así como definir el manejo silvícola, son condiciones necesarias en un marco de manejo sustentable.

Boldo (*Peumus boldus*), es una especie ampliamente utilizada en la obtención de diferentes productos, donde se destaca la cosecha de sus hojas para extracción de metabolitos (Sfeir, 1990), que han sido comercializados al exterior desde el siglo pasado. En el último tiempo, las exportaciones de hoja han superado las 1.100 toneladas, por un valor FOB cercano a US\$ 580.000, siendo Alemania, EEUU, Japón, Francia, Argentina y Brasil los principales países de destino (INFOR – CONAF, 2003).

Considerando la importancia económica que presenta esta especie, es relevante realizar estudios que permitan evaluar la producción de hojas, así como de biomasa fustal que permitan determinar rangos de productividad para una formación de boldo. A su vez, entregar información sobre los aspectos de la cosecha en tiempo y espacio, caracterizando la forma en que se ha realizado el aprovechamiento.

Para ello, esta memoria tiene por objetivo evaluar la producción y productividad de biomasa aérea de boldo para una formación del tipo forestal esclerófilo.

Así como, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar en términos espaciales y temporales la cosecha de hojas para una formación de boldo.
- Desarrollar funciones estimadoras de biomasa foliar, fustal y total para la especie.
- Evaluar la producción y productividad en biomasa de hojas y fuste para boldo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes generales del boldo

2.1.1 Distribución geográfica

El área de distribución del boldo a lo largo de Chile, presenta como límite norte la bahía de Tongoy (30°20' Latitud Sur) IV Región y su límite sur a orillas del río Las Damas en Osorno (41°20' Latitud Sur). En la parte norte de la zona central, se encuentra especialmente en la Cordillera de la Costa y desde San Fernando al sur se encuentra hasta la precordillera andina, entre los cinco y 1.000 msnm (Montenegro, 2000).

2.1.2 Descripción botánica

Corresponde a un árbol o arbusto, dioico, siempreverde, esclerófilo de follaje denso. Puede alcanzar una altura de 20 metros con diámetros de hasta un metro. Presenta una copa compuesta por abundantes ramas cilíndricas y ramillas con hojas dispuesta en forma opuesta (Rodríguez *et al.*, 1983). Sus hojas son simple y coriáceas, con la cara superior brillante áspera al tacto, envés pálido, pubescente y nervadura hundida en la lamina (Navas, 1976). Sus flores, de 5 a 10 mm de diámetro se caracterizan por crecer en forma de racimo (Botti y Cabello, 1990). Al respecto, las flores masculinas presentan numerosos estambres, lo que en las flores femeninas está representado por escamas nectaríferas (Rodríguez *et al.*, 1983).

El fruto es una drupa ovoide carnosa y jugosa, que madura entre diciembre y enero, de 6 a 8 mm de longitud, color amarillo verdoso que permanece sobre el receptáculo cuando se encuentra maduro. Al igual que en las flores, están reunidos en grupos de 2 a 5 sobre un pedúnculo, por lo que raramente se encuentran solitarias (Rodríguez *et al.*, 1983). La forma de la semilla es globosa ovoide, con un diámetro de 6 a 7 mm, con abundante endosperma y cotiledones de gran tamaño (Navas, 1973).

2.1.3 Hábitat

Corresponde a una especie rústica, con escasa exigencia de humedad, por lo que puede subsistir en áreas con pluviosidad anual de 200 mm, además de valles y quebradas con presencia de neblina costera. Poco resistente a las heladas y se adecua a períodos largos de sequía (Homann y Matte, 1967a). Debido al desarrollo que presenta, puede considerarse al boldo como una especie de tolerancia media a intolerante. Esta característica se observa especialmente en las zonas higromórficas de su distribución (Homann y Matte, 1967b).

Gajardo (1990), identifica al boldo asociado con *Trevoa trinervis* (trevo) en sectores costeros erosionados, generando un matorral denso; mientras que en laderas orientales de las Cordillera de la Costa, aparece junto a *Lithraea caustica* (litre) en laderas intermedias y en exposiciones norte, esta última formando parte del denominado bosque esclerófilo del Maule. Sin embargo, en exposición sur de áreas costeras se encuentra asociado con *Cryptocarya alba* (peumo), *Beilschmiedia miersii* (belloto del norte) y *Azara* spp. (lilén), presentando los mayores porcentajes de cobertura en la Región Mediterránea de Chile con las dos primeras (Pizarro, 1989); mientras que en la zona norte de su distribución, adopta una forma arbustiva como una formación xerófila, acompañado por *Lithraea caustica* (litre) y *Kageneckia oblonga* (bollén) (Donoso, 1981).

2.1.4 Propagación y desarrollo vegetativo

En su estado natural, la polinización de las flores esta a cargo de dípteros pertenecientes principalmente a la familia Sirphidae y algunos coleópteros. Los frutos presentan un largo período de maduración y no se dispersan hasta mediados del período estival (Hoffmann, 1981). La propagación por semillas en vivero es relativamente difícil ya que las semillas sembradas en otoño o invierno, no germinan hasta el invierno siguiente, provocando un porcentaje de germinación bajo; por lo que se debe esperar hasta el invierno del segundo año que se complete una nueva generación (Botti y Cabello, 1990). Este bajo porcentaje se debe principalmente al efecto inhibitor del pericarpio, que al igual que la hoja contiene aceites esenciales como terpinol y euginol. Este efecto se observa con mayor fuerza en forma natural (Rodríguez *et al.*, 1983). Por otra parte, la propagación por estacas permite el enraizamiento de no más del 15% del material a utilizar. Si bien es más rápida que la

propagación por semillas, debe esperarse seis meses para obtener resultados (Santelices y Bobadilla, 1997).

Debido al escaso porcentaje de germinación en forma natural, en la cepa se observa la presencia de yemas subterráneas en receso vegetativo ubicadas en un órgano denominado lignotuber, que permite una regeneración vigorosa después de un incendio o cuando es talado para ser usado como fuente de madera (Montenegro, 2000).

El período vegetativo del boldo se inicia en primavera (Octubre) finalizando a principios del verano con la diferenciación de las yemas florales, las que se mantienen latentes hasta mediados del invierno (Julio-Agosto) momento en que se produce la floración. Por su parte, los frutos presentan un largo proceso de maduración, los que serán dispersados a mediados del verano (Cuadro N° 1) (Hoffmann, 1981).

Cuadro N° 1: Fenofases del boldo.

MESES	Período húmedo							Período seco				
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Yemas florales	■							■				
Floración	■		■			■						
Maduración frutos	■			■								
Dispersión frutos	■							■				
Crecim. vegetativo	■					■		■				

Fuente: Hoffmann, 1981.

2.2 Crecimiento en boldo

Se entiende por crecimiento el desarrollo, engrosamiento y elongación de los distintos componentes de un árbol o rodal, referida a una edad o un período específico, expresado por incrementos en el tiempo del diámetro, área basal, altura y volumen (Prodan, 1965), determinado por la interacción entre las características genéticas del individuo con los factores del medio ambiente en que se desarrolla (Kannegiesser, 1987).

Kannegiesser (1987) y Toral *et al.* (1988), señalan que en bosques abiertos de baja densidad, el crecimiento en diámetro (medido a nivel del Dap), de una muestra que contempló edades entre los 9 y 128 años, fluctúa de 0,16 a 0,79 cm/año respectivamente, con un promedio de 0,36 cm/año. A su vez, el crecimiento en altura oscila entre 0,04 y

0,54 m/año, con un promedio de 0,17 m/año; presentando los mayores incrementos en la etapa juvenil de la especie.

2.3 Biomasa

Biomasa corresponde a la cantidad total de materia viva presente en un momento dado para un sistema biológico, expresada en unidades de peso seco por unidad de superficie (Newbould, 1967), pudiendo ser utilizada para determinar por medio de inventarios la cantidad de materia biológica que se encuentra disponible en un momento y ambiente definido; así como para determinar la distribución de materia orgánica de dicho sistema (Bown, 1992).

La distribución de biomasa en fustes, ramas, hojas y raíces varía considerablemente con la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural (Pardé, 1980). Por lo tanto, la evaluación de la biomasa presente en los distintos componentes de un individuo, permite estimar el potencial productivo de un sistema boscoso (Montecinos, 2001).

Uno de los componentes que presenta mayor variación es la biomasa foliar, debido a que no incrementa necesariamente con el crecimiento del rodal, como lo hace la biomasa total (Pardé, 1980). Es por ello que se estudia la biomasa foliar porque permite describir el sistema fotosintético y relacionarlo con la productividad del bosque.

2.3.1 Métodos de estimación de biomasa

Diversos son los métodos que se han desarrollado para estimar la biomasa de un individuo. Sin duda, el método más preciso corresponde a la destrucción completa del individuo (Crow, 1979), obteniendo el peso seco de cada componente del árbol; sin embargo este es un proceso que conlleva mucho tiempo y recursos económicos. Debido a esto, son utilizados mayoritariamente el método del árbol medio y el método regresional (Bown, 1992).

Por una parte, el método del árbol medio utilizado principalmente en bosques homogéneos como las plantaciones, consiste en la búsqueda del árbol que presente el promedio aritmético del Dap para el rodal en cuestión u otra variable de estado. Una vez

encontrado este individuo, es volteado para luego determinar su peso seco. Sobre esto, se calcula la biomasa total acumulada para la superficie, dado un número de árboles y el valor obtenido del árbol medio (Madwick, 1973; citado por Bown, 1992).

Por el contrario, el método regresional o alométrico, utilizado para poblaciones muy heterogéneas, consiste en voltear árboles pertenecientes a diferentes clases de Dap u otra variable de estado considerada en el estudio, para luego extraer submuestras. Estas últimas deben ser secadas y pesadas obteniendo valores que con proyectados sobre los árboles volteados. En base a los individuos extraídos, se determinan funciones empíricas para estimar la biomasa, la cuál se aplica a cada uno de los árboles del rodal, de modo de obtener la biomasa total como la suma de las biomásas individuales (Teller, 1988). Al respecto Crow (1979), lo define como análisis dimensional, debido a que en base a pocos individuos cosechados, se establece un análisis regresional para estimar la biomasa de los individuos restantes.

Para expresar las relaciones entre el peso seco y las dimensiones de los árboles muestra, los modelos más utilizados empleando las variables independientes combinadas o transformadas (ln) son:

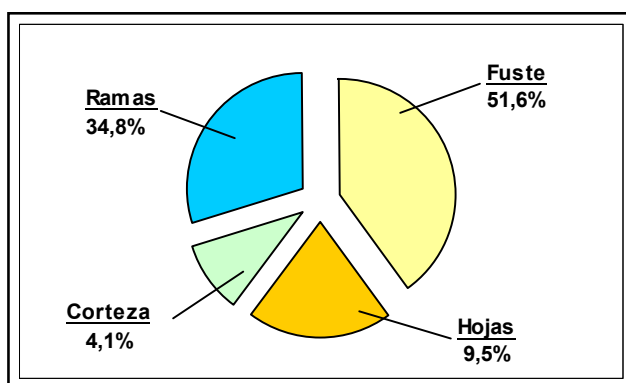
$$\begin{array}{ll} \text{Lineal} & y = a + b_i x_i \\ \text{Exponencial} & y = a * e^{bx} \\ \text{Potencial} & y = a * x_i^{bi} \end{array} \quad (\text{Prado } \underline{\text{et al.}}, 1988).$$

Elementos estadísticos como el Coeficiente de Determinación o Correlación (R^2), Error Cuadrático Medio (ECM) y la Proporción de Observaciones con Errores Menores al 10, 15 y 20% (Aguirre e Infante, 1988; Prado et al., 1988), pueden condicionar la selección de las mejores funciones.

2.3.2 *Biomasa en boldo*

El estudio de la biomasa junto con el desarrollo de modelos o funciones de estimación de biomasa en boldo, ha permitido determinar la distribución de los componentes, las variables de estado que mejor explican el desarrollo del individuo, así como estimaciones de la producción en biomasa por superficie.

Para formaciones en la VII Región Kannegiesser (1987), señalan que el principal componente de la biomasa es el fuste con 51,6% del peso seco total, luego las ramas con 34,8%, las hojas con 9,5% y finalmente la corteza con 4,1% (Figura N° 1). De la misma forma Aguirre e Infante (1988), determinaron que la biomasa se distribuye principalmente en las ramas y ramillas (84% del peso seco), es decir, en la parte leñosa del árbol y sólo un 16% del peso seco corresponde a las hojas, que constituyen el componente comercial de la especie.



Fuente: Modificado de Kannegiesser, 1987.

Figura N° 1: Porcentaje de participación de la biomasa por individuo.

Mediante diferentes estudios ha sido posible establecer aquellas variables que explican la producción en biomasa, apreciando una gran variedad de variables y algunas de ellas operacionalmente difíciles de medir en terreno. Es así como Gajardo y Verdugo (1979) concluyeron que aquellas variables más relacionadas con el rendimiento en la producción de hojas son el diámetro de copa (D_{copa}) y altura de copa (H_{copa}) del conjunto de retoños que conforman el tocón. Kannegiesser (1987), destaca el diámetro a la altura del pecho (D_{ap}) y altura total del individuo (H_{t}). Montecinos (2001), señala que el diámetro del vástago (D_{v}) y el diámetro mayor de copa (D_{mac}) son las variables más significativas. Por su parte, Aguirre e Infante (1988) mediante el ajuste de modelos de estimación, señalaron que el diámetro menor de copa (D_{mec}), el diámetro mayor de copa (D_{mac}), la altura total (H_{t}) y el número de vástagos mayores a 1 cm (N_{v}), corresponden a las variables que mejor explican el comportamiento de los distintos componentes de la biomasa.

2.4 Antecedentes de productividad

Para determinar el crecimiento de un sistema natural es utilizada la biomasa, el ciclo de nutrientes y el flujo de energía del ecosistema, crecimiento que es expresado en términos de productividad o incremento del peso por superficie y año (t/ha/año o g/m²/año) (Donoso, 2001); diferenciándose del concepto de producción ya que este último corresponde a la cantidad de materia orgánica acumulada en un tiempo y superficie determinada (Newbould, 1970).

Para efectos de productividad forestal, la bioma se refiere al peso seco de la parte vegetal viva a nivel del suelo, excluyendo ramas muertas y en algunos casos las raíces (Newbould, 1970). Es así como, para determinar la productividad potencial de un árbol o sitio, se cuantifican los incrementos en altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal del fuste, además del volumen de troncos y ramas. Mientras que a nivel arbustos, se mide el incremento en diámetro de los cuerpos leñosos a la altura del tocón y el volumen de las copas, considerando el número de vástagos como un indicador de la productividad (Caldentey, 1990).

De esta manera, un sistema natural puede verse afectado por una serie de factores, siendo el más condicionante la interacción del potencial genético con el medio ambientales (Caldentey, 1990). Es así como el abastecimiento del agua y fertilidad del suelo, la variación en la altitud, genera diferencias en la productividad de bosques árticos, bosques tropicales y ecosistemas mediterráneos (Donoso, 2001) (Cuadro N° 2). Mientras que en plantaciones, la productividad varía considerablemente con el sitio forestal, edad de la plantación, especie, genotipo y el clima (Waring y Schlesinger, 1985; citado por Donoso, 2001).

Cuadro N° 2: Productividad de diferentes tipos y ecosistemas forestales.

Tipo Forestal o Ecosistema	Productividad primaria neta (g/m²/año)
Boreal	800
Templado Subtropical	1.300
Tropical	2.450
Tropical Lluvioso	2.000
Matorral Costero California	2.251
Garriga de Quercus (Francia)	3.400
Garriga de Quercus (España)	9.300

Fuente: Modificado de Donoso, 2001.

2.5 Manejo silvicultural

Homman y Matte (1967), señalaron que el método silvicultural aplicado en boldo era el monte bajo; ya que se cortaba casi la totalidad de las ramas dejando un tocón que regeneraba vegetativamente.

Sin embargo, Vita (1993) indica que el método silvicultural más efectivo para la especie es el monte bajo irregular, basado netamente en la producción de hojas. Esta estructura consiste mantener retoños de diferentes clases de edad y diámetro sobre la cepa a lo largo del tiempo, justificado por la obtención de productos de pequeñas dimensiones en menor tiempo y con costos más bajos respecto al monte alto. A su vez el autor, estima una rotación de 35 años para alcanzar un Dap medio de 28 cm. Por su parte Kannegiesser (1987), señala que al considerar el crecimiento en diámetro desde un punto de vista biológico-técnico, es decir, determinando el momento en que se intersectan las curvas de crecimiento; la rotación absoluta del boldo es de 33 años, alcanzando un diámetro de 11 cm.

2.6 Uso y cosecha del boldo

El uso del boldo esta dado por el aprovechamiento de sus componentes, debido a la presencia de aceites esenciales y alcaloides con propiedades medicinales, dando al alcaloide boldina (2,9 dihidroxi - 1,10 dimetoxiaporfina) una alta importancia económica,

dada por sus múltiples cualidades y usos (Montes y Wilkomirsky, 1977). Al respecto, la boldina presenta propiedades antioxidantes y citoprotectoras (Bannach, 1993), dando a las hojas y los otros componentes propiedades coleréticas, analgésicas y diuréticas (CONAF, 1997).

Si bien, esta sustancia se encuentra presente tanto en las hojas como la corteza del individuo, la utilización comercial del boldo se basa exclusivamente en la extracción de las hojas, a pesar que el mayor porcentaje de boldina está distribuido en la corteza (Roach, 2001).

Por otra parte, tradicionalmente la madera se emplea para leña y carbón vegetal, a pesar que no reúne las cualidades interesantes para su uso. Además la corteza contiene taninos que son utilizados en curtiembre y para teñir lana de color amarillo, posee un olor agradable similar a la canela, utilizado para eliminar el olor a vinagre de los toneles. Y sus frutos, ricos en proteínas, calcio, fósforo y potasio son consumidos o utilizados para preparar una bebida fermentada denominada “chicha de boldo” (Montenegro, 2000).

La cosecha de hojas de boldo, se realiza durante los meses de diciembre a marzo (Homann y Matte, 1967), seleccionando los individuos por edad y cantidad de estas (Sapaj, 1998). Se extraen 3 a 4 retoños a 25 cm del tocón, que se recuperan en cuatro a seis años más. Luego son apilados sobre el suelo para que las hojas pierdan humedad. Posteriormente es sacudido cada retoño para que las hojas caigan, seleccionando las hojas aptas para la comercialización que finalmente serán embaladas (a 10% de contenido de humedad) (Trobok, 1979).

La producción, está orientada directamente a la extracción de las hojas. Sin embargo los procedimientos presentan una desventaja y es que el producto obtenido generalmente es muy heterogéneo, dado por la diferencia en los tiempos de acopio para un mismo lote del producto, lo que genera un material con distintos estados de degradación al momento de la venta (Roach, 2001).

2.7 Comercialización

La comercialización del producto, se compone de dos mercados: nacional e internacional. A nivel interno, el consumo de hojas de boldo alcanza 12 toneladas al año (Trobok, 1983). Por su parte, las exportaciones durante el período 2003 de hoja de boldo, alcanzaron 1.138,4 toneladas por un monto de US\$ 579.200 FOB; siendo Alemania, Estados Unidos, Japón, Francia, Argentina y Brasil los principales países de destino (INFOR-CONAF, 2003).

Es importante señalar, que un alto porcentaje de la producción es generada por campesinos, en que la mayoría no cuentan con recursos, y en muchos casos también carecen de experiencia para comercializar en forma directa, por lo cuál se apoyan en intermediarios para el control de la transacción. Esto determina que la producción de hojas se realiza en forma ocasional o mayoritariamente por pedido, generando una comercialización discontinua en el tiempo.

Por su parte los grandes propietarios de bosques poseen cadenas productivas continuas, que generan producciones satisfactorias desde del punto de vista económico (Sapaj, 1998). A esto se añade, que los canales de comercialización de hoja de boldo se caracterizan por la informalidad de las relaciones contractuales existentes, tanto por los intermediarios como a nivel del comprador nacional final (empresas nacionales y empresas exportadoras) (Roach, 2001).

Con respecto al precio de venta del producto, para el sector del valle de Colliguay (VI Región), al vender un individuo en pie el valor por kilo de hojas es de \$60, mientras que puesto en la entrada del predio es de \$120 (Sapaj, 1998). Empresas situadas en Viña del Mar y Curacaví, ofrecen precio de compra (por kilo de hoja seca puesto en planta) que fluctúan entre los \$ 160¹ y \$ 180², que cambian según las variaciones en el mercado.

En cuanto a la calidad de las hojas para comercialización, el mercado nacional no es muy exigente apoyado por la falta de elementos legales (Roach, 2001). Sin embargo, para la exportación de hojas de boldo el Departamento de Control y Certificación perteneciente al

¹ Patricio Acevedo. Stremar Ltda. Comunicación personal. 25/06/04

² Luis Silva. Atlas Exportaciones e Importaciones Ltda. Comunicación personal. 25/06/04

SAG, ha definido requisitos en cuanto a humedad, empaque y peso. Para ello, las hojas se clasifican en dos grados dependiendo del color, presencia de daño, insectos, porcentaje de material leñoso y presentación de las hojas. Si bien esta norma no se encuentra vigente, es utilizada como parámetro para la actividad (Sapaj, 1998).

2.8 Consideraciones legales de la extracción de hojas de boldo

Para efectos de la extracción de biomasa foliar, al momento de realizar el plan de manejo correspondiente es importante considerar una estimación de la producción que se desea obtener. Sin embargo, esta extracción selectiva se debe realizar en términos de área basal, según lo dispuesto para el tipo forestal esclerófilo en la modificación del Artículo 40 DS del N° 193/1998 presente en el DL N° 701/1974. Este exige una extracción no superior al 35% del área basal existente en una superficie inferior a 0.3 hectáreas; el posterior establecimiento de mínimo 10 plantas de la misma especie o 3000 plantas por hectárea.

De acuerdo a esto último, se debe tener precaución al momento de la entresaca en términos de área basal, debido a la baja densidad de algunas formaciones, lo que exigiría la instalación de parcelas de mayor tamaño, que permitan abarcar una gran cantidad de individuos y así obtener la producción deseada (Roach, 2001).

Por ello, la selección de las formaciones en términos de densidad y estructura de los individuos a intervenir debe realizarse con cierta precaución, para que la extracción de vástagos sea moderada y permitan en los próximos 4 o 5 años en la siguiente extracción, se cumplan los rendimientos esperados. Del mismo modo, se debe dar cumplimiento en la protección y manejo de la regeneración principalmente de retoños o en algunos casos de semilla.

3. MATERIAL Y MÉTODO

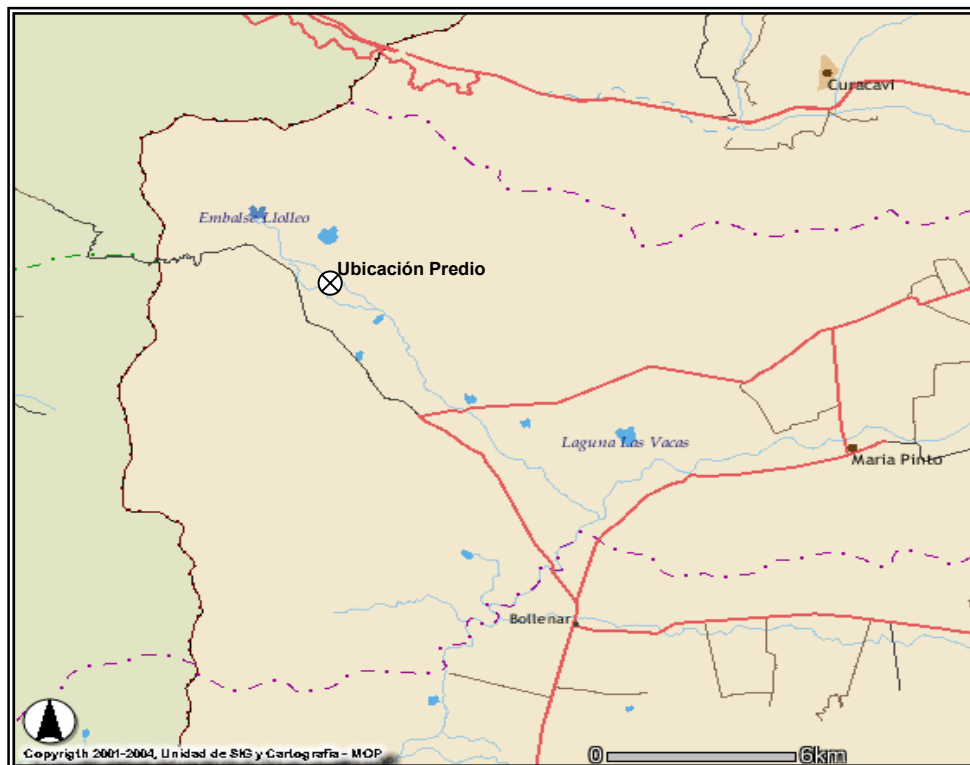
3.1 Material

3.1.1 Área de estudio

3.1.1.1 Ubicación geográfica

El presente estudio se realizó en un predio particular de nombre “Fundo Loleo”, ubicado en el sector de la cuesta de Ibacache, Comuna de María Pinto, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Con una superficie de 2.600 ha, presenta como límites por el norte la Comuna de Curacaví y por el oeste la V Región (Figura N° 2).

Durante los últimos veinte años, las formaciones de boldo que presenta este predio han sido intervenidas con el objetivo de extraer hojas con fines comerciales.



Fuente: www.moptt.cl

Figura N° 2: Mapa de ubicación del Área de estudio.

3.1.2 Clima

Según Santibáñez y Uribe (1990), la zona presenta un clima mediterráneo semiárido. El régimen térmico se caracteriza por temperaturas que varían entre una máxima de 27,7 °C en enero y una mínima en julio de 4,7 °C en promedio. El régimen hídrico, observa una precipitación media anual de 454 mm, con un déficit hídrico de 952 mm y un período seco de ocho meses. La humedad relativa promedio anual es de un 77%, mientras que el período libre de heladas es de 245 días, con un promedio de 7 heladas por año (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3: Descripción climática de la zona.

	T max. (°C)	T min. (°C)	DG acumulados (base 10°C)	Hrs. frío (base 7°C)	HR (%)	Precipitación (mm)
Enero	27,7	11,4	865	0	70	6,4
Julio	14,8	4,7	1.064	257	85	84,5

Fuente: Santibáñez y Uribe, 1990.

3.1.3 Suelo

El suelo derivado de material granítico, presenta una alta susceptibilidad a la erosión así como una baja fertilidad. Con drenaje externo rápido producto de la estructura franco arcillo arenosa de los materiales, el drenaje interno es moderadamente lento debido a que los horizontes más bajos son abundantes en cuarzo y la estructura arcillosa de los materiales es más débil (Peralta, 1976).

3.1.4 Vegetación

Las formaciones vegetales que predominan en el sector son de origen probablemente secundario, desarrolladas en un bosque esclerófilo de alta complejidad, predominando el matorral cerrado y formaciones espinosas de alta densidad con algunos individuos arbóreos esparcidos (Gajardo, 1994), compuesto en su mayoría por peumo, litre, boldo, quillay y espino principalmente, generando en conjunto diferentes estructuras arbóreas y/o arbustivas (Figura N° 3)



Figura N° 3: Estructura vegetal presente en el predio.

3.2 Método

3.2.1 Caracterización de la cosecha del boldo

Con la información proporcionada por los diferentes planes de manejo presentados en el predio, la distribución y edad de las cepas por parcela, se realizó una caracterización de la cosecha de boldo a nivel espacial y temporal.

Para realizar el levantamiento horizontal de cada parcela, se utilizó el programa computacional STAND VISULIZATION SYSTEMS (SVS) ([USDA Forest Service](#)).

3.2.2 Funciones estimadoras de biomasa

3.2.2.1 Selección de los sectores

Debido a las intervenciones realizadas en el predio, se generó una gran cantidad de situaciones, que se traduce en una formación con una gran heterogeneidad estructural. De acuerdo a esto, los sectores seleccionados fueron aquellos que presentaban diferentes extracciones durante los últimos años, permitiendo tener individuos de variadas características estructurales y de diferentes edades (Figura N° 4).

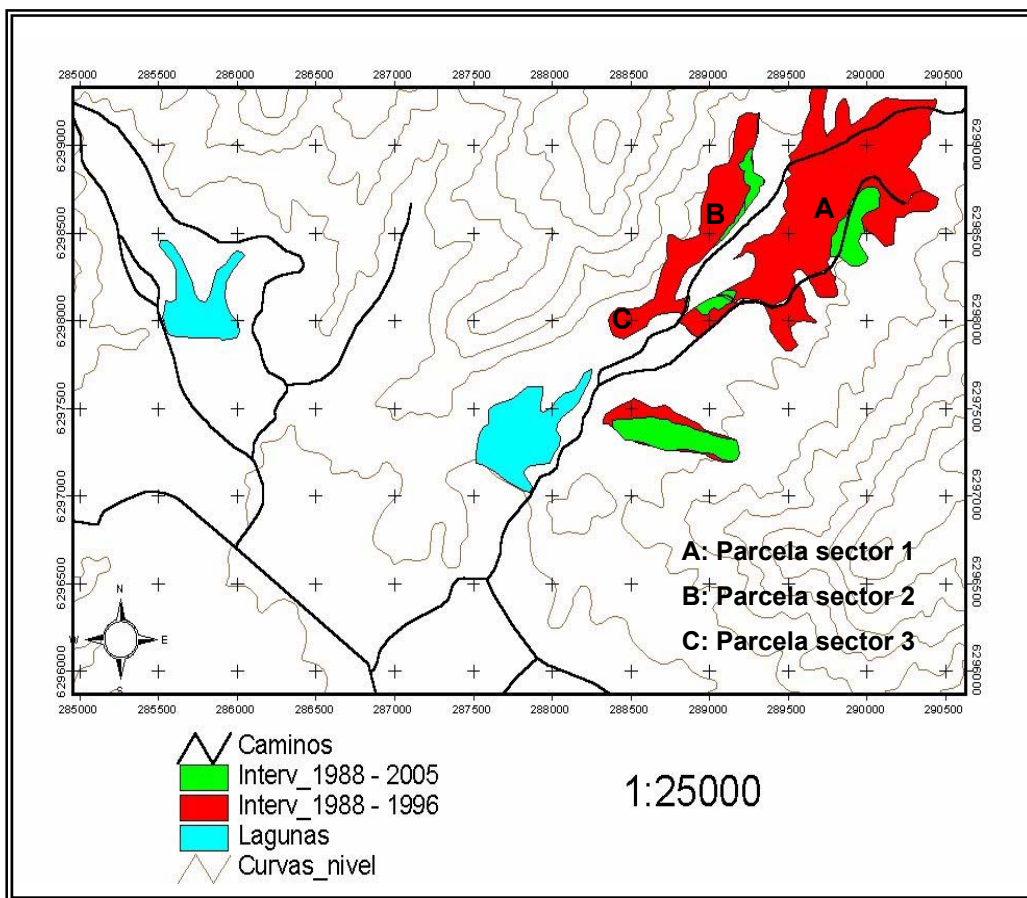


Figura N° 4: Sectores seleccionados para la instalación de la parcela.

3.2.2.2 Parcelas experimentales

Una vez ubicados los sectores, se establecieron tres parcelas rectangulares de 500 m² (20 * 25 metros), en las cuáles se realizó un inventario de las especies.

Posteriormente, en cada parcela se posicionaron los individuos presentes situándolos mediante una coordenada (x,y), permitiendo determinar la distribución espacial de estos.

Finalmente, en cada individuo de boldo se midieron variables descriptivas que serian utilizadas en la construcción de las funciones de biomasa (Cuadro N° 4), así como la edad estimada del individuo a través de los vástagos.

Cuadro N° 4: Variables descriptivas medidas en cada boldo.

NIVEL DE MEDICIÓN			
INDIVIDUO (cepa)		VASTAGO	
Altura total (m)	H	Diámetro (cm)	DAC
Diámetro mayor de copa (m)	Dmac	Altura (m)	Hv
Diámetro menor de copa (m)	Dmec		
Número de vástagos	Nv		

3.2.2.3 Selección de la muestra

Basándose en el método alométrico para la estimación de la biomasa, fueron construidas tablas de frecuencia con respecto a la dispersión del diámetro del vástago, de modo que la muestra extraída incluyera todo el rango de diámetros del sector correspondiente. Fueron cosechados completamente 4 individuos por parcela, que permitieron muestrear más de 200 vástagos.

Los vástagos, fueron cortados a nivel de la cepa y transportados a la Facultad de Ciencias Forestales, donde se separaron las hojas del fuste en forma manual. Esta fue almacenada en bolsas de papel rotuladas según vástago y cepa a la que correspondía (Figura N° 5).



Figura N° 5: Cosecha y envasado de hojas de boldo.

Por otra parte, la biomasa fustal consideró a las ramas, ramillas y fuste del vástago como un conjunto. Este material fue reducido para ser almacenado en bolsas de papel rotuladas, del mismo modo que las hojas (Figura N° 6).



Figura N° 6: Reducción y envasado del material leñoso.

3.2.2.4 *Obtención de los pesos secos*

El material obtenido consistente en biomasa foliar y fustal, fueron sometidas a un proceso de secado en un horno de aire forzado a una temperatura de 65 °C hasta llegar a peso constante.

Una vez seco el material se procedió a pesar cada muestra en una balanza de precisión, con lo que se obtuvo el peso seco de biomasa foliar y fustal para cada vástago extraído. El peso seco total del vástago se calculó por la sumatoria de la biomasa de hojas y de fuste correspondiente.

3.2.2.5 *Jerarquización de las variables y ajuste regresional*

Para determinar las variables que describen mejor el comportamiento de la biomasa, se relacionó a cada variable descriptiva medida en terreno con respecto a los pesos secos correspondientes. A través del coeficiente de determinación (R^2), se ordenaron estas variables de mayor a menor importancia para el desarrollo de las ecuaciones predictoras.

3.2.2.6 *Desarrollo de los modelos*

Mediante el uso del programa computacional STATGRAPHICS PLUS en conjunto con técnicas de análisis regresional, se procesó la información obtenida, generando ecuaciones de biomasa por componentes (foliar y fustal) y total.

En el caso de las funciones a nivel de individuos, el número de variables utilizadas es elevado, por lo que el uso del método paso a paso (stepwise) permitió ajustar diferentes modelos que relacionaran el peso seco de cada componente con aquellas variables que hayan presentado los mejores coeficientes de correlación.

3.2.2.7 Modelos ajustados y selección de los mejores

Los modelos utilizados en el ajuste para el desarrollo de las ecuaciones de biomasa fueron del tipo:

Lineal	$y = a + b_i x_i$		
Exponencial	$y = a * e^{bx}$		
Potencial	$y = a * x_i^{bi}$	(Prado <i>et al.</i> , 1988).	$i = 1, 2, \dots, n$

n = número de variables

De los modelos obtenidos, la selección está basada en tres criterios:

- Mayor coeficiente de determinación (R^2)
- Menor error estándar de estimación (S_{yx})
- Análisis de los residuos (análisis de los residuos estandarizados versus las variables descriptoras).

A estos criterios, se debe añadir que el modelo debe ser sencillo en su aplicación.

Mientras que, para efectos de la validación de los modelos seleccionados, se consideró un 10% de la muestra total extraída, que no fue utilizada en el desarrollo de las ecuaciones correspondientes; consistiendo en obtener el error cuadrático medio de las desviaciones (Caldentey, 1990; citado por Montecinos, 2001)

3.2.3 Determinación de la productividad y producción

Seleccionada las funciones predictoras de biomasa para cada componente, se estimó el peso seco de biomasa foliar, fustal y total a cada individuos presente en cada parcela. La relación entre el peso seco y la edad de cada boldo, permite obtener la productividad media anual por individuo (g/individuo/año) para hojas, fuste y biomasa total.

Por otra parte, la biomasa estimada para cada individuo se utilizó para determinar la producción en biomasa aérea; que será extrapolada a la superficie obteniendo el peso seco por hectárea para hojas, fuste y total.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de los sectores

La vegetación de los sectores, esta compuesta principalmente por especies constituyentes del bosque esclerófilo (Cuadro N° 5). Estructuralmente, pueden observarse tres estratos: el estrato arbóreo, compuesto por peumo, boldo, espino y molle; el estrato arbustivo formado por espino, boldo y huingan; finalmente el estrato herbáceo dominado principalmente por asteraceas.

Cuadro N° 5: Principales especies constituyentes de los sectores.

Especies	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
	Nha	Nha	Nha
Boldo (<i>Peumus boldus</i>)	1420	580	480
Espino (<i>Acacia caven</i>)	80	800	360
Molle (<i>Schinus molle</i>)	80	20	20
Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>)	520	20	100
Peumo (<i>Cryptocarya alba</i>)	140	0	40
Maiten (<i>Maitenus boaria</i>)	0	20	0
Huingan (<i>Schinus polygamus</i>)	0	60	20
TOTAL ESPECIES	2.240	1.500	1.020

Donde:

- Nha : Número de árboles por hectárea

4.2 Caracterización de la cosecha de boldo

La cosecha del boldo, se basa principalmente en la extracción de sus hojas, producto de los componentes químicos que presentan. Esta se realiza aproximadamente cada cuatro años, seleccionando aquellos vástagos que no presentan dificultades en la extracción. Los individuos que son cortados en una temporada, no necesariamente son cosechados nuevamente en el período siguiente.

Por efecto del gran número de intervenciones que ha tenido este predio en particular (extracciones de hojas desde el año 1982), mediante un levantamiento horizontal es

posible apreciar la dispersión de edades de los individuos en cada una de las parcelas analizadas, permitiendo establecer conclusiones respecto al manejo que ha sido efecto cada uno los sectores (Figura N° 7, 8 y 9).

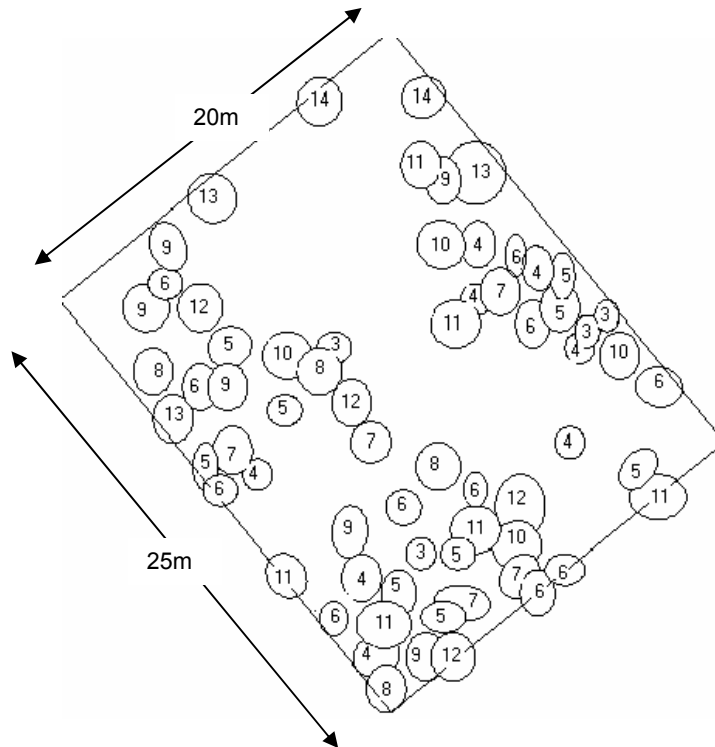


Figura N° 7: Levantamiento horizontal del sector 1 y edad de los vástagos de los individuos de boldo.

En el sector 1, el boldo es acompañado por espino, molle, quillay y peumo principalmente con una densidad de 2.200 árboles por hectárea. La parcela, constituida por un total de 71 boldos, de los cuáles un gran porcentaje (70%) presentan una edad de los vástagos entre los 3 a 9 años. A su vez, el otro 30%, está constituido por individuos con edades superiores a 10 años, siendo el mayor de 14.

De acuerdo a los observado anteriormente en la Figura N° 4, este sector ha sido intervenido desde el año 1990, según la presentando la última extracción de hojas en el período 2003-2005, por los que al momento de realizar el levantamiento se encontraban individuos totalmente cortados. Esto demuestra que la edad estimada de los vástagos para los individuos, coincide con los períodos de extracción presentados en los planes de manejo a CONAF para este sector.

Estructuralmente, los individuos de menor edad presentan una altura no superior a 2,1 m en comparación a los casi 3,5 m de los individuos mayores. De igual forma en los boldos de menor edad el diámetro promedio es inferior a 4 cm, por efecto de la competencia entre los vástagos por luz producto de su estructura cerrada, que generan un crecimiento mayor en altura que en diámetro; mientras que en los boldos de mayor edad, el diámetro logra valores entre 8 a 10 cm, formando individuos con una estructura más abierta.

La estructura vertical de este sector puede deberse a la gran cantidad de intervenciones que han sido objeto la especie para las extracciones de hoja, consistente en la corta del individuo en forma completa según el diámetro de los vástagos, generando boldos de escasa altura, gran cantidad de vástagos de pequeños diámetros y copas que comienzan desde el suelo; siendo esta estructura la que constituye en su mayoría el sector. Por otra parte, aquellos individuos con vástagos superiores a los 7 – 8 cm de diámetro, no son considerados en la cosecha, ya que al presentar alturas superiores a 2,5 m en promedio, operativamente son difíciles de extraer de una masa conformada por muchos vástagos similares, por lo cuál se les permite crecer en forma libre, conformando individuos con una copa amplia a gran altura del suelo y que compiten directamente con las copas de los espinos y molles acompañantes, mientras que aquellos vástagos de menor diámetro desarrollados alrededor de estos si son extraídos en la intervención.

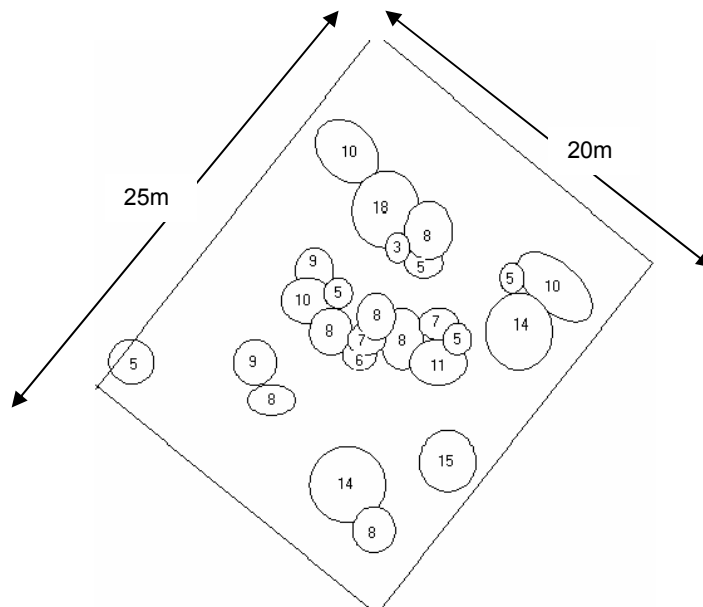


Figura N° 8: Levantamiento horizontal del sector 2 y edad de los vástagos de los individuos de boldo.

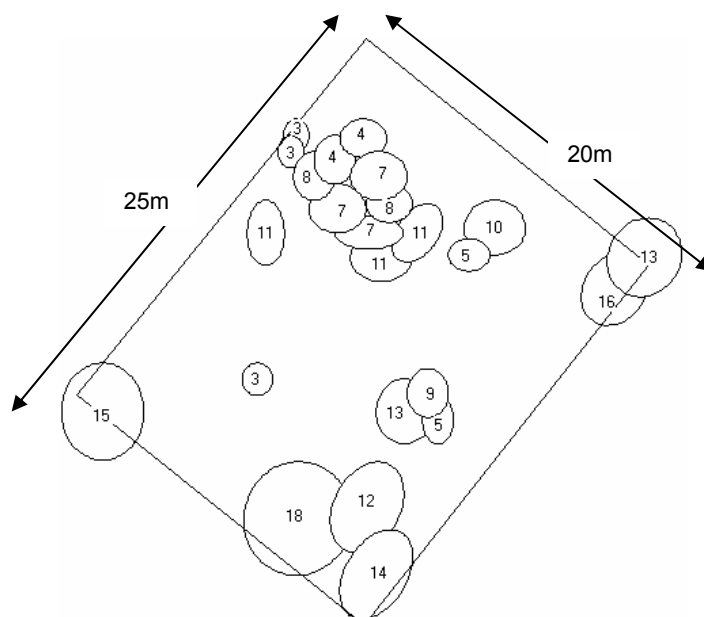


Figura N° 9: Levantamiento horizontal del sector 3 y edad de los vástagos de los individuos de boldo.

A diferencia de la situación anterior, en los sectores 2 y 3, se mantienen ciertas similitudes. En primer lugar, las especies acompañantes de los boldos corresponden principalmente a espino y algunos ejemplares de quillay y peumo, en menor proporción que en el sector 1.

A su vez, presentan una gran cantidad de individuos con edades de los vástagos superiores a 10 años, producto de que ambos sectores las intervenciones se han realizado teóricamente desde el año 1982 debido a la existencia de vástagos de 20 años. Estas extracciones se han realizado en forma continua en el tiempo hasta el año 2003, generando una gran variedad de edades de los vástagos, influyendo las características del individuo. Por esto, la estructura de los sectores es más abierta, con individuos de mayor altura y mayor copa, producto de una mayor cantidad de vástagos con diámetro superiores, los cuáles no son aprovechados al momento de la cosecha; mientras que los individuos de menor edad en menor proporción, indican que una baja cantidad de boldos de los sectores es aprovechada completamente en las extracciones.

Otro elemento importante, es la densidad de individuos en estos sectores, correspondiente a la parte baja del predio, la cuál es considerablemente menor respecto al sector 1, factor que influye directamente en el desarrollo y producción de biomasa foliar

aprovechable, producto de la diferencia en el grado de la competencia con las especies similares y acompañantes.

Sin embargo, los tres sectores presentan una similitud en términos de la distribución de los individuos a cosechar, ya que son aprovechados aquellos individuos y vástagos que presentan condiciones operativas, para ser cortados total o parcialmente que permitan un traslado de estos en forma simple a un lugar de secado para la separación de las hojas y en lo posible que presenten un gran porcentaje del largo del vástago con biomasa foliar, que permita obtener una buena producción de hojas por individuo.

4.3 Distribución diamétrica de los vástagos

El cuadro N° 6, muestra la distribución diametral de los vástagos de boldo presentes en cada parcela.

Cuadro N° 6: Dispersión diamétrica de los vástagos de boldo.

Clase diámetro del vástago (cm)	PARCELA 1		PARCELA 2		PARCELA 3	
	Frecuencia	Nvha	Frecuencia	Nvha	Frecuencia	Nvha
0,1 - 1,1	225	4.500	42	840	51	1.020
1,1 - 2,1	295	5.900	84	1.680	103	2.060
2,1 - 3,1	230	4.600	96	1.920	108	2.160
3,1 - 4,1	80	1.600	74	1.480	48	960
4,1 - 5,1	42	840	44	880	27	540
5,1 - 6,1	18	360	17	340	15	300
6,1 - 7,1	10	200	7	140	9	180
7,1 - 8,1	0	0	0	0	3	60
8,1 - 9,1	0	0	0	0	3	60
9,1 - 10,1	1	20	0	0	3	60
10,1 - 11,1	1	20	3	60	2	40
11,1 - 12,1	3	60	4	80	3	60
TOTAL DE VÁSTAGOS	905	18.100	371	7.420	375	7.500

Donde:

- Nvha : Número de vástagos por hectárea.

Respecto a la distribución del diámetro de los vástagos, se aprecian diferencias en las frecuencias correspondientes a cada clase diamétrica entre las parcelas. Es así como la parcela 1, destaca por la gran cantidad de vástagos por sobre las otras dos parcelas, sobre todo para diámetros inferiores a 4 cm. Esto demuestra una gran cantidad de individuos, que presentan muchos retoños jóvenes, generados por el gran número de intervenciones que han sido objeto estos individuos. Por el contrario los otros sectores (parcelas 2 y 3), la cantidad de individuos y vástagos de diámetros inferiores a 4 cm es menor, destacando la presencia de retoños de gran diámetro, generados por un menor grado de intervención en los boldos.

4.4 Producción de biomasa a nivel de vástagos

4.4.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables

Se correlacionó la biomasa por componentes con respecto al diámetro y altura del vástago, permitiendo jerarquizar las variables que mejor explican el comportamiento de esta (Cuadro N° 7).

Cuadro N° 7: Análisis de correlación según la matriz para los vástagos.

VARIABLE	DAC	H	PESO HOJA	PESO FUSTE	PESO TOTAL
DAC	1,000				
H	0,953	1,000			
PESO HOJA	0,923	0,857	1,000		
PESO FUSTE	0,928	0,854	0,965	1,000	
PESO TOTAL	0,932	0,859	0,978	0,999	1,000

Donde:

- DAC : Diámetro del vástago (cm)
- H : Altura del vástago (m)

En el Cuadro N° 7, se muestra que la variable que presenta un mayor coeficiente de correlación respecto al peso seco de hojas, fuste y total, es el diámetro del vástago con un valor de 0,923; 0,928 y 0,932 respectivamente. Específicamente para la biomasa foliar, si bien la correlación obtenida es más alta que la presentada por Montecinos (2001) (0,856);

coincide que el diámetro del vástago es la variable que mejor explica el comportamiento de la biomasa tanto de hojas como de fuste y total.

4.4.2 Ajuste de los modelos

Se probaron los modelos presentados en el punto 3.2.6.2; obteniendo los valores de las constantes indicadas en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8: Modelos ajustados para la biomasa por componentes a nivel de vástagos.

COMPONENTE	FUNCION ESTIMADORA DE BIOMASA	FUNCION LINEALIZADA	R ²	S _{YX}
HOJAS	$Y = 22,9438 * X^{1,90447}$	$\text{Ln } Y = 3,133 + 1,90447 * \text{Ln } X$	0,95	0,59
FUSTE	$Y = 32,2899 * X^{2,67985}$	$\text{Ln } Y = 3,475 + 2,67985 * \text{Ln } X$	0,98	0,46
TOTAL	$Y = 61,1665 * X^{2,3632}$	$\text{Ln } Y = 4,133 + 2,3632 * \text{Ln } X$	0,98	0,42

Donde:

- Y : Peso seco del componente (g)
- X : Diámetro del vástago (cm)
- R² : Coeficiente de Determinación
- S_{yx} : Error Estándar de Estimación

Es importante considerar, que cada modelo debe corregirse mediante la semisuma del error estándar de estimación (S_{yx}/2) (Bown, 1992).

A su vez, se graficaron las relaciones entre los valores de biomasa obtenidos en terreno versus aquellos determinados por las ecuaciones estimadoras, con el fin de observar si permiten generar una distribución similar (Figura N° 10).

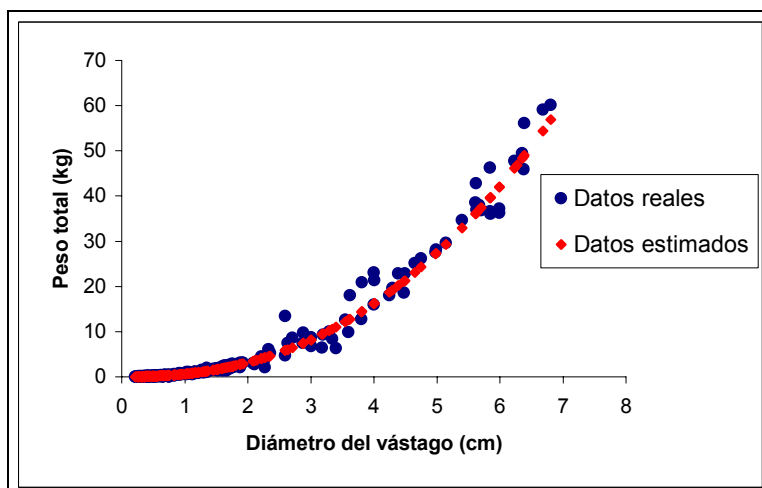
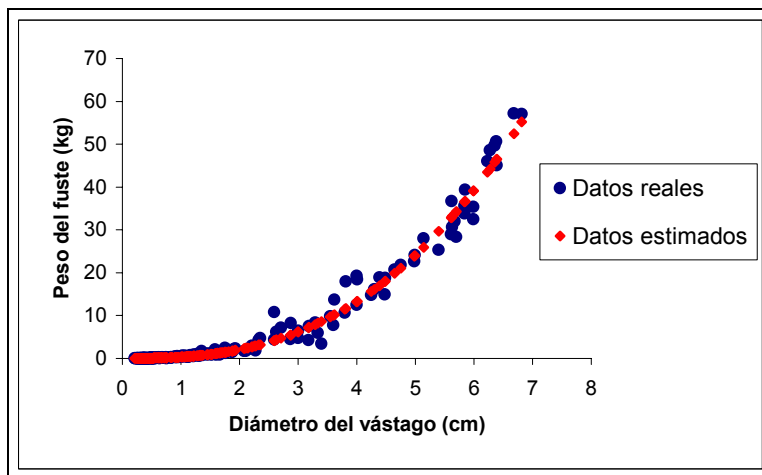
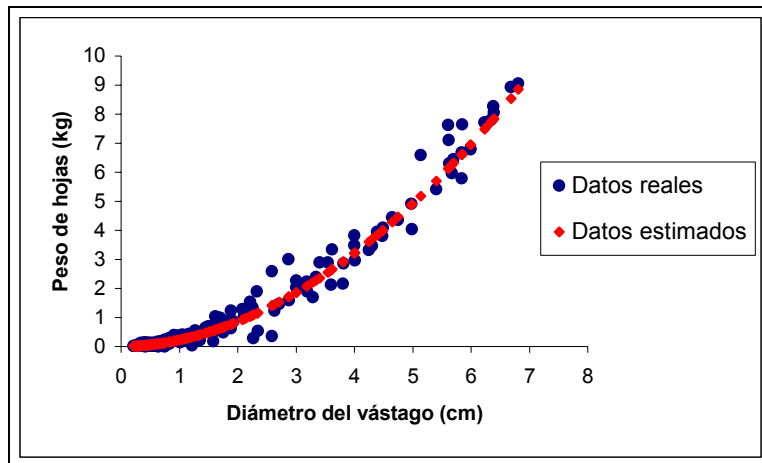


Figura N° 10: Pesos secos reales por componente versus valores estimados para el modelo seleccionado.

Los modelos generados mediante la variable altura, si bien presentan correlaciones y errores de estimación cercanos a los generados por el diámetro del vástago, no fueron considerados debido a que al aumentar la altura, no necesariamente el peso seco aumenta, producto de la competencia entre los vástagos en el individuo y la competencia entre los individuos. A esto se debe añadir, la facilidad en la medición del diámetro del vástago con respecto a la altura.

4.4.3 Análisis de residuos

Con el fin de complementar la selección de cada una de las ecuaciones obtenidas, se analizaron los residuos estandarizados.

En la Figura N° 11, se muestra que la distribución de los residuos presenta una distribución homogénea a ambos lados de la recta. Aquellos puntos más alejados de la línea cero corresponden a vástagos en el que la biomasa foliar y fustal, no era representativa del diámetro, por lo cuál fueron eliminados del análisis.

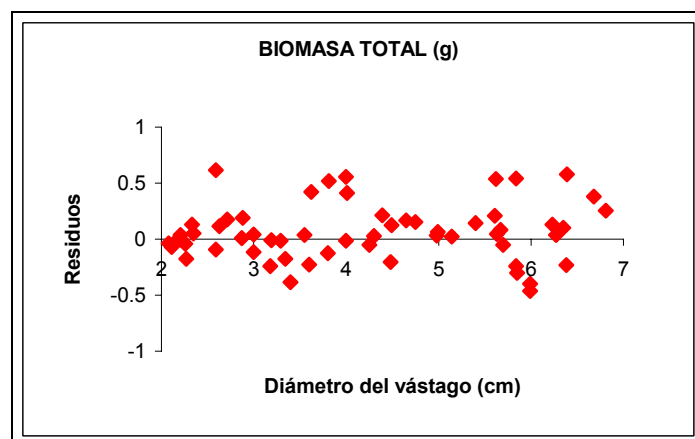
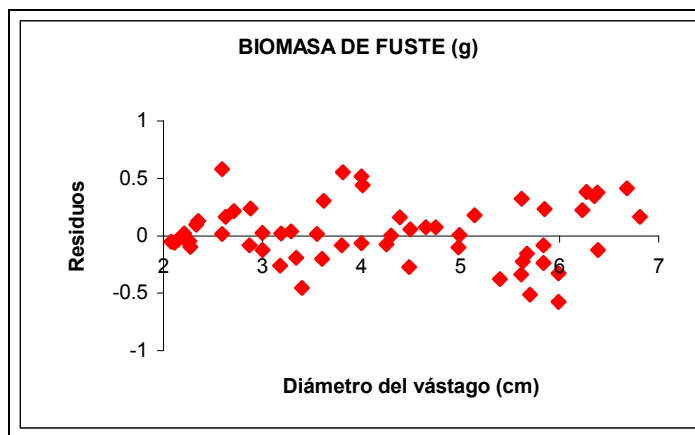
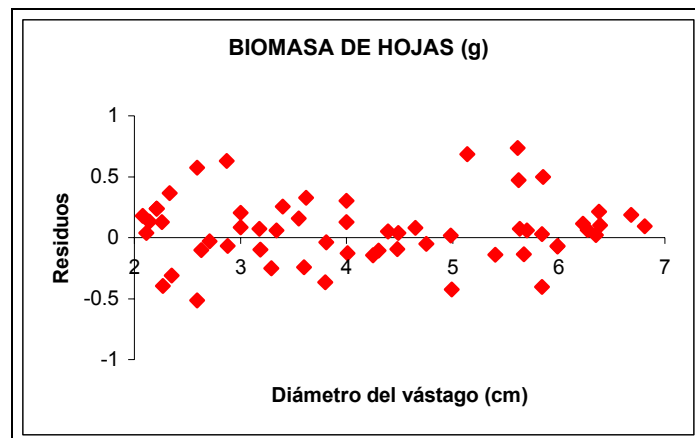


Figura N° 11: Residuos estandarizados para los modelos a nivel de vástagos.

4.4.4 Validación de los modelos seleccionados

Se procedió a validar las funciones mediante el error cuadrático medio (ECM), no debiendo superar el 30% (Caldentey, 1990; citado por Montecinos, 2001).

Cuadro N° 9: Error cuadrático medio de los modelos.

COMPONENTE	FUNCIÓN LINEALIZADA	ERROR CUADRÁTICO MEDIO (%)
HOJA	$\text{Ln } Y = 3,133 + 1,9044 * \text{Ln } X$	19,08
FUSTE	$\text{Ln } Y = 3,475 + 2,6798 * \text{Ln } X$	20,50
TOTAL	$\text{Ln } Y = 4,133 + 2,3632 * \text{Ln } X$	13,17

De acuerdo a los errores obtenidos, las funciones de estimación de biomasa de hojas, fuste y total, serían aceptadas como ecuaciones finales.

4.5 Producción de biomasa a nivel de individuo

Por medio de los modelos seleccionados para estimar la biomasa de cada componente de los vástagos, se obtuvo el peso seco para el individuo completo. La información obtenida a la que añadió los individuos cosechados completamente en las parcelas, fue relacionada con aquellas variables descriptivas medidas en cada individuo para la obtención de las respectivas funciones.

4.5.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables

Se jerarquizaron aquellas variables que mejor explican el comportamiento de la biomasa, de modo de determinar su utilidad en el desarrollo de los respectivos modelos. Para ello, se construyó la matriz de correlaciones entre los pesos secos y las variables medidas (Cuadro N° 10).

Cuadro N° 10: Análisis de correlación, según la matriz para el individuo completo.

	PESO HOJAS	PESO FUSTE	PESO TOTAL	AB	D MAY	D MEN	H	Nv
P HOJAS	1,000							
P FUSTE	0,959	1,000						
P TOTAL	0,986	0,993	1,000					
AB	0,997	0,969	0,991	1,000				
Dmay	0,602	0,602	0,568	0,579	1,000			
Dmen	0,557	0,557	0,527	0,536	0,979	1,000		
H	0,618	0,618	0,571	0,612	0,677	0,664	1,000	
Nv	0,486	0,486	0,423	0,475	0,398	0,361	0,375	1,000

Donde:

- AB : Área basal por individuo (m²)
- Dmay : Diámetro mayor de copa (m)
- Dmen : Diámetro menor de copa (m)
- H : Altura (m)
- Nv : Número de vástagos por individuo

Se aprecia que las variables que mejor se correlacionan con la biomasa por componentes a nivel de individuos corresponden al área basal, el diámetro mayor de copa y la altura. Si bien el diámetro menor de copa presenta valores de correlación cercanos a los obtenidos por el diámetro mayor, la variable no fue considerada así como el número de vástagos, ya que esta última presentó los valores más bajos.

4.5.2 Ajuste de los modelos

Mediante el ajuste regresional paso a paso, se probaron distintos modelos con aquellas variables seleccionadas anteriormente. Esto permitió descartar las variables que aumentaban las posibilidades de error al momento de la estimación (Cuadro N° 11).

Cuadro N° 11: Modelos ajustados para la biomasa por componentes para el individuo completo.

	ITER	FUNCION ESTIMADORA DE BIOMASA	R ²	S _{YX}
HOJAS	1	$LN Y = 12,1201 + 0,9403 * LN (AB) + 0,0406 * LN (Dmay*H)$	0,99	0,055
	2	$LN Y = 12,2904 + 0,9592 * LN (AB)$	0,99	0,059
FUSTE	1	$LN Y = 15,298 + 1,3032 * LN(AB) + 0,0012 * LN (Dmay*H)$	0,97	0,200
	2	$LN Y = 15,303 + 1,3037 * LN (AB)$	0,97	0,199
TOTAL	1	$LN Y = 14,7317 + 1,1499 * LN (AB) + 0,0179 * LN (Dmay*H)$	0,98	0,119
	2	$LN Y = 14,8071 + 1,1583 * LN (AB)$	0,98	0,119

El área basal corresponde a la variable más relevante en la estimación de la biomasa para cada componente; sin embargo el diámetro mayor de copa y la altura no presentan una alta influencia en forma individual como esta. Por otra parte, al incorporar el diámetro menor de copa a cada modelo, tanto el coeficiente de correlación como el error de estimación presentaban valores muy bajos en comparación a los obtenidos por los modelos descritos; situación similar que presenta la incorporación del número de vástagos.

4.5.3 Análisis de residuos

De igual manera que para los modelos a nivel de vástagos, las ecuaciones para el individuo completo debe analizarse la distribución de los residuos. En la figura N° 12, se muestra que los residuos presentan una dispersión aleatoria con respecto a la recta, para cada componente.

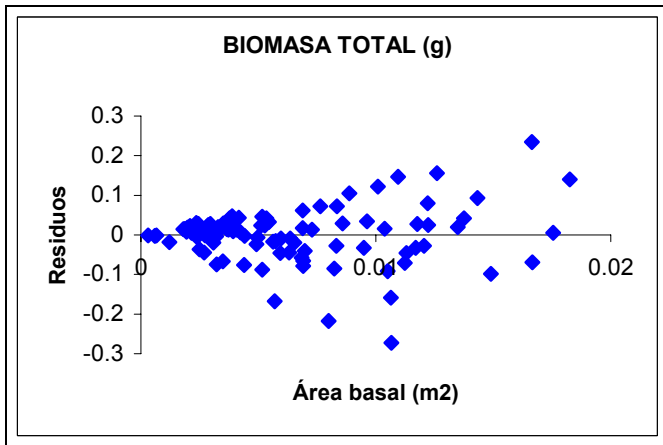
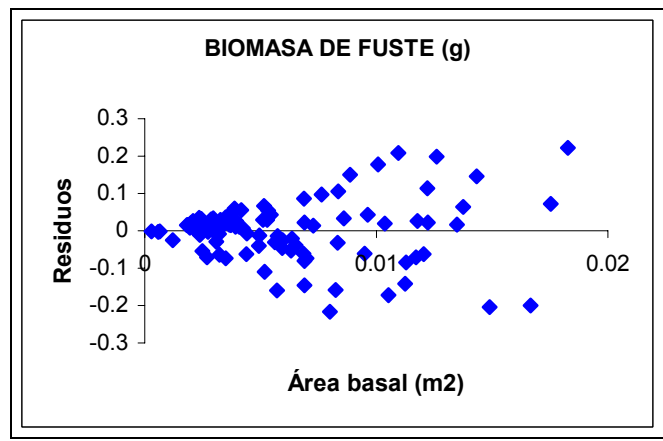
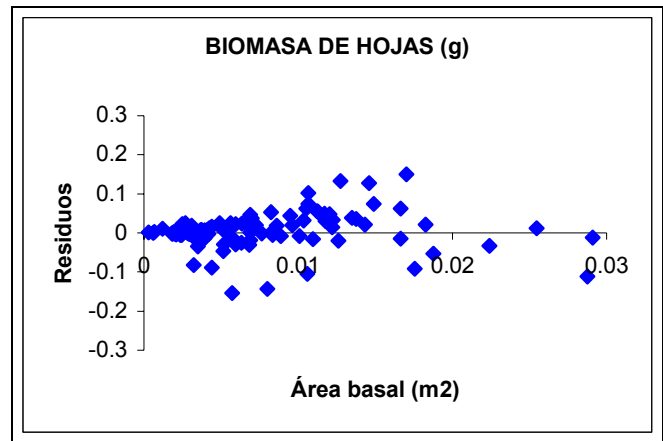


Figura N° 12: Residuos estandarizados para los modelos a nivel de individuo.

4.5.4 Validación de los modelos seleccionados

Calculando el error cuadrático medio, se obtuvieron los siguientes valores (Cuadro N° 12).

Cuadro N° 12: Error cuadrático medio de los modelos seleccionados.

	FUNCION ESTIMADORA DE BIOMASA	ECM (%)
HOJAS	$LN Y = 12,1201 + 0,9403 * LN (AB) + 0,0406 * LN (Dmay*H)$	4,31
	$LN Y = 12,2904 + 0,9592 * LN (AB)$	2,19
FUSTE	$LN Y = 15,298 + 1,3032 * LN (AB) + 0,0012 * LN (Dmay*H)$	19,48
	$LN Y = 15,303 + 1,3037 * LN (AB)$	19,41
TOTAL	$LN Y = 14,7317 + 1,1499 * LN (AB) + 0,0179 * LN (Dmay*H)$	11,28
	$LN Y = 14,8071 + 1,1583 * LN (AB)$	10,08

Todos los modelos obtenidos presentan errores menores al 30%, por lo que pueden ser definidos como ecuaciones finales de estimación (Caldentey, 1990; citado por Montecinos, 2001).

Si bien, los coeficientes de correlación, errores de estimación y errores cuadrático presentan escasas diferencias; el criterio de selección del modelo para la biomasa fustal y total, corresponde al más sencillo en su aplicación.

4.6 Comparación de la biomasa según modelos propuestos

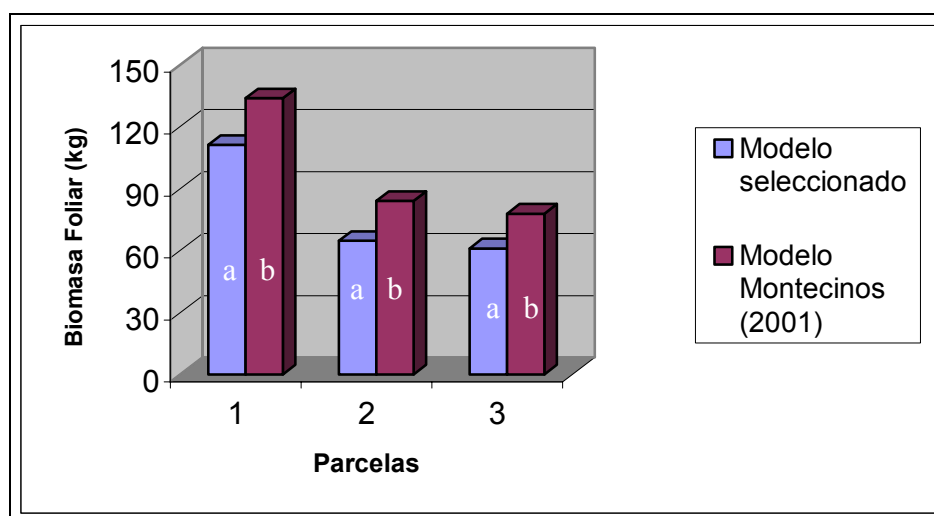
Obtenida la biomasa de vástagos y del individuo completo para cada componente por medio de los modelos seleccionados, fueron contrastados con aquellos generados por Montecinos (2001) para cada una de las parcelas establecidas.

Cuadro N° 13: Biomasa foliar por parcela a nivel de individuo.

	BIOMASA FOLIAR A NIVEL DE INDIVIDUO (kg)		
	PARCELA 1	PARCELA 2	PARCELA 3
MODELO SELECCIONADO	111.20	64.72	61.07
MODELO MONTECINOS (2001)	133.76	84.03	77.87

Al comparar los valores obtenidos por cada modelo a nivel individual (Cuadro N° 13), se aprecia que aquellos generados por el modelo de Montecinos (2001) superan a los estimados por el modelo seleccionado en este estudio (Figura N° 13).

Sin embargo, al realizar un análisis estadístico de comparación de medias (ANDEVA) y posteriormente un análisis de comparación entre medias, se determinó que existen diferencias significativas entre biomasa estimada por los modelos en cada parcela (Apéndice N° 1).



Letras similares indica que no existen diferencias significativas

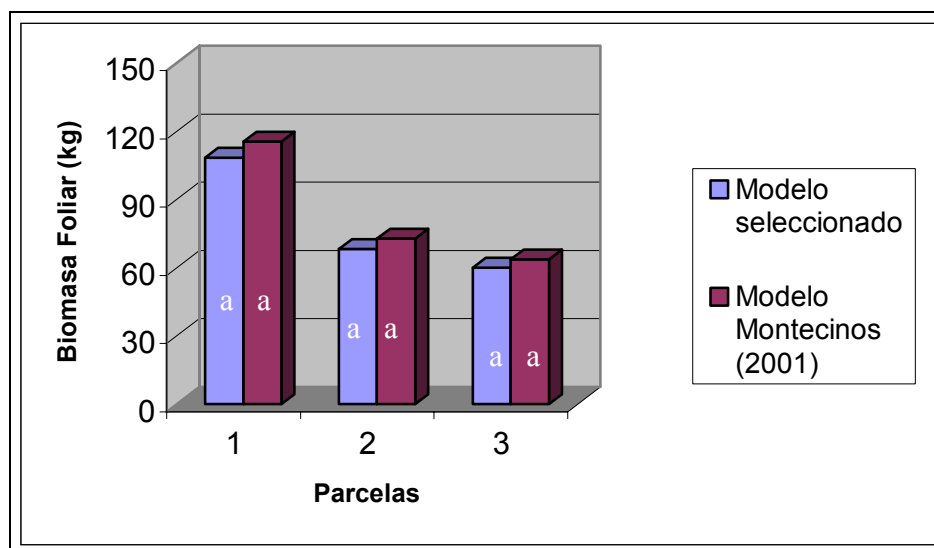
Figura N° 13: Comparación grafica entre los modelos para la biomasa foliar a nivel de individuo.

A su vez, al realizar el análisis a nivel de vástagos se observa que la producción de biomasa foliar estimada por el modelo de Montecinos (2001) es similar a la producción obtenida por el modelo seleccionado en cada parcela, debido que ambos modelos fueron desarrollados en base al diámetro del vástago (Cuadro N° 14).

Cuadro N° 14: Biomasa foliar por parcela a nivel de vástagos.

	BIOMASA FOLIAR A NIVEL DE VÁSTAGOS (kg)		
	PARCELA 1	PARCELA 2	PARCELA 3
MODELO SELECCIONADO	108.38	68.17	60.09
MODELO MONTECINOS (2001)	115.45	72.92	63.65

Gráficamente es posible apreciar las diferencias por parcela, sin embargo mediante un ANDEVA y un análisis estadístico de comparación de medias, se determinó que no existen diferencias significativas entre biomasa estimada por los modelos en cada una de las parcelas (Apéndice N° 2).



Letras similares indica que no existen diferencias significativas

Figura N° 14: Comparación grafica entre los modelos para la biomasa foliar a nivel de vástagos.

Si bien, no existen diferencias estadísticas significativas entre la biomasa de vástagos, los valores estimados por el modelos de Montecinos (2001) presentan una subestimación en diámetros entre 5 – 9 cm y sobreestiman para diámetros superiores a 10 cm respecto a los calculados por el modelo seleccionado (Figura N° 14). Mientras que a nivel de individuos, las diferencias estadísticas entre la biomasa estimada por los modelos puede basarse en la estructura que presentan los modelos, en términos de las variables incluidas o los estimadores como el R^2 o el error de estimación (S_{YX}), que pueden influir en la determinación de la biomasa presente (Cuadro N° 15).

Cuadro N° 15: Estructura de los modelos analizados y estimadores obtenidos.

NIVEL DE ESTIMACION	MODELO	FUNCIÓN	R^2	S_{XY}
VASTAGOS	MODELO SELECCIONADO	$LN Y = 3,133 + 1,90447 * LN (DAC)$	0,95	0,59
	MODELO MONTECINOS (2001)	$LN Y = 1,971 + 1,688 * (DAC) - 0,233 * (DAC^2) + 0,012 * (DAC^3)$	0,79	0,33
INDIVIDUO	MODELO SELECCIONADO	$LN Y = 12,2904 + 0,9592 * LN (AB)$	0,99	0,055
	MODELO MONTECINOS (2001)	$LN Y = 5,043 + 0,394 * LN (NV^2) + 0,228 * LN (Dmac^2) + 0,383 * LN (Ht)$	0,78	0,28

Donde:

- Y : Peso de hojas (g)
- DAC : Diámetro del vástago (cm)
- AB : Área basal por individuo (m^2)
- NV : Número de vástagos por individuo
- Dmac : Diámetro mayor de copa (m)
- Ht : Altura total (m)

Los modelos generados por Montecinos presentan una alta complejidad en su estructura; además utilizando variables que no presenta un alto grado de correlación con la producción de biomasa foliar como es el caso del número de vástagos.

Es importante señalar que además se obtuvieron funciones utilizando del diámetro mayor de copa y la altura relacionándolas con el área basal obteniendo los mismos resultados.

4.7 Producción y productividad de biomasa

4.7.1 Producción de biomasa

Definidas las ecuaciones para la estimación de biomasa, se procedió a estimar la biomasa acumulada en cada individuo, permitiendo obtener la producción de biomasa para cada componente y parcela estudiada (Cuadro N° 16).

Cuadro N° 16: Producción de biomasa por componentes para cada sector.

PARCELAS	ÁRBOLES (Nha)	BIOMASA DE HOJAS		BIOMASA DE FUSTE		BIOMASA TOTAL	
		kg	t/ha	kg	t/ha	kg	t/ha
1	1.420	111,19	2,2238	438,02	8,7604	530,62	10,6124
2	580	64,72	1,2944	315,05	6,301	347,01	6,9402
3	480	61,07	1,2214	313,34	6,2668	338,39	6,7678

Los valores obtenidos, en biomasa para cada componente a nivel de hectáreas, se encuentran cercanos a los determinados por diferentes estudios. Es así como para una densidad de 480 árboles/ha, la producción de biomasa total alcanza 6,76 t/ha, superando a las 4,5 t/ha determinadas por Kannegiesser (1987) para boldos de la VII Región con una densidad de 440 árboles/ha respectivamente. Esta diferencia puede ser debido a las características intrínsecas de cada región, así como las diferencias en la estructura de la formación vegetal.

La producción de biomasa foliar a nivel de individuo en este trabajo, presenta valores entre 0,09 y 12,04 kg. Gajardo y Verdugo (1979) obtuvieron en individuos que se desarrollaban en la V Región, una producción de hojas entre 0,3 y 9,0 kg. Boldos que

crecían en la VII Región, presentaron un rango que varió entre 0,095 y 27,8 kg (Kannegiesser, 1987) y los antecedentes generados por Montecinos (2001) en la VI Región, varían entre 0,88 y 10,59 kg/individuo. Los valores obtenidos para esta formación estudiada, se encuentran dentro de los rangos presentes en las diferentes formaciones de boldo.

La producción de biomasa foliar con un valor de 1,21 t/ha para una densidad de 480 árboles/ha, es similar a las 1,19 t/ha obtenidas por Montecinos (2001), en una formación de 462 árboles/ha. Esto apunta a la similitud en las condiciones de crecimiento de ambos trabajos. Por el contrario, llama la atención las 0,42 t/ha de hojas para una densidad de 440 árboles/ha (Kannegiesser, 1987), valor muy bajo respecto a la obtenida en este estudio para una densidad cercana; a pesar de las condiciones climáticas presentes en el sector de Sagrada Familia, que son mejores en términos de precipitación (700 mm/año) respecto a Melipilla (300 mm/año), además de su cercanía a la costa.

Respecto a otras especies esclerófilas en términos de biomasa foliar, la producción a nivel de individuo determinada por Mondaca (1997) en una formación de litre en Melipilla varía entre 2,1 y 11,9 kg, llegando a producir 2,6 t/ha de hoja. Mientras que quillay con una densidad de 30 árboles/ha produce 1,2 ton/ha de biomasa foliar (Toral y Rosende, 1986).

Considerando los valores de biomasa entregados en el Cuadro N°13, el fuste representa alrededor del 75 % de la biomasa total considerando ramas, corteza y fuste, mientras que las hojas aportan el 25% restante; coincidiendo con los valores entregados por Kannegiesser (1987), Toral *et al.* (1988) y Aguirre e Infante (1988).

4.7.2 Productividad media en biomasa

Una de las variables medidas en cada individuo, que no fue considerada en la construcción de los modelos de estimación de la biomasa, corresponde a la edad. La relación entre esta variable y los pesos secos obtenidos por los modelos seleccionados, permitió determinar la productividad media para el boldo con respecto a cada componente.

$$\text{PRODUCTIVIDAD MEDIA} = \frac{\text{PESO SECO}}{\text{EDAD}} \text{ (kg/individuo/año)}$$

A medida que aumenta la edad de los vástagos del boldo, la biomasa por componente tiende a aumentar, lo que conlleva directamente a un aumento en la productividad. Sin embargo, este aumento no es proporcional; debido a que influye sobre la producción de biomasa aérea las características intrínsecas del individuo, la competencia entre los vástagos y entre individuos y las diferencias en las características de suelo, presencia de napas subterráneas, vegetación acompañante, entre otras. Considerando que la extracción de hojas se realiza cada cuatro a cinco años, la producción por individuo de biomasa foliar al momento de la cosecha varía entre los 600 y 800 g (Cuadro N° 17).

Cuadro N° 17: Biomasa promedio de un individuo según edad.

EDAD (años)	BIOMASA PROMEDIO (kg/individuo)		
	HOJA	FUSTE	TOTAL
3	0,36	0,75	1,19
4	0,62	1,44	2,18
5	0,83	2,33	3,27
6	1,07	2,94	4,16
7	1,39	4,72	6,14
8	1,65	6,01	7,55
9	1,90	7,60	9,18
10	2,39	9,80	11,74
11	2,65	13,09	14,37
12	3,06	15,09	16,57
13	3,59	21,18	21,30
14	4,54	24,53	24,77
15	6,09	28,71	32,23
16	7,45	32,30	37,78
20	12,07	73,57	74,41

Por otra parte, en el cuadro N° 18, se observa la productividad media en biomasa para cada componente. Es así como, un individuo de cuatro años incrementa su biomasa foliar en 125 g/año, mientras que a la edad de diez años este incremento es cercano a los 250 g/año, producto de una mayor producción de biomasa en hoja y los otros componentes por parte de este último. Específicamente, para esta formación la productividad media en

biomasa foliar alcanza los 160 g/individuo/año, mientras que la biomasa fustal aumenta 300 g/individuo/año. Se debe tener en consideración que estos valores no permanecen constantes entre temporadas, producto de las condiciones externas e internas que afectan a la especie.

Cuadro N° 18: Productividad media para boldo por componentes.

EDAD (años)	PRODUCTIVIDAD MEDIA (Kg/individuo/año)		
	HOJA	FUSTE	TOTAL
3	0,12	0,25	0,39
4	0,16	0,36	0,54
5	0,17	0,47	0,65
6	0,18	0,49	0,69
7	0,19	0,68	0,88
8	0,21	0,75	0,94
9	0,21	0,84	1,02
10	0,24	0,98	1,17
11	0,24	1,19	1,31
12	0,26	1,26	1,38
13	0,28	1,63	1,64
14	0,32	1,75	1,77
15	0,41	1,91	2,15
16	0,47	2,02	2,36
20	0,60	3,28	3,72

En bosques esclerófilos de la precordillera presentes en la IV Región, compuesto por quillay y litre, la productividad alcanza los 1.100 kg/ha/año (Yates, 1985). Mientras que una formación de espino ubicada en la Comuna de San Pedro (Melipilla), la productividad varía entre 963 y 1.687 kg/ha/año (Navarro, 1995). Comparando estos resultados con los obtenidos en el presente estudio, la productividad del bosque esclerófilo considerando solamente a boldo es de 971 kg/ha/año. Este resultado favorable se debe a las características del bosque, que se desarrolla en condiciones de suelo y exposición que permiten que la masa crezca de muy buena forma.

En términos del producto de interés del boldo que son sus hojas, cabe mencionar que su productividad es de 196 kg/ha/año y de 833 kg/ha/año para la biomasa fustal.

Considerando la densidad de cada sector, se aprecia que a medida que aumenta el número de individuos, la productividad tiende a aumentar. Es así como, el sector que presenta una densidad de 1.420 árboles/ha, el número y grado de intervención ha sido mayor en el tiempo, provocando una variación en la estructura de las especies en forma constante, formando individuos pequeños en altura y copa, además de una gran cantidad de vástagos de diámetro inferior a 2 cm y con edades que fluctúan entre 4 – 8 años principalmente, la biomasa se desarrolla con mayor rapidez y cantidad, con el objetivo de recuperar la biomasa extraída en el período. Por el contrario, en las otras dos parcelas de menor densidad, la presencia de individuos de mayor edad indica que se mantiene una estructura en el tiempo, variando solamente el número de retoños de menor diámetro desarrollados alrededor de estos, debido a que los vástagos de mayor diámetro no son cosechados, solo una parte de la biomasa se recupera, la cuál es sólo una fracción de la biomasa total presente en el sector, determinando una menor, pero no despreciable productividad en todos los componentes (Cuadro N° 19). Además, se debe considerar que el número de individuos de edades similares entre las tres parcelas es distinto, lo que ayuda a generar las diferencias establecidas en la productividad por componente.

Cuadro N° 19: Productividad de biomasa por parcela.

PARCELA	DENSIDAD (Nha)	PRODUCTIVIDAD (kg/ha/año)		
		BIOMASA FOLIAR	BIOMASA FUSTAL	BIOMASA TOTAL
1	1.420	308	1.276	1.494
2	580	154	668	781
3	480	125	554	639

5. CONCLUSIONES

Caracterización de la cosecha

- La cosecha de hojas de boldo, se realiza en forma desordenada en el tiempo; seleccionando los vástagos de aquellos individuos que no presenten problemas operacionalmente en su extracción.
- Aquellos individuos que presenten vástagos con un diámetro superior entre 7 – 8 cm, no son cosechados, pero aquellos retoños más pequeños que los rodean si son considerados en la extracción.
- Las intervenciones sobre un individuo, se realizan cada cuatro a cinco años, sin embargo para un mayor aprovechamiento de la especie, se dejan algunos intactos de modo que aumenten su producción y ser cosechados en el siguiente período.

Funciones de estimación de biomasa

- El uso de modelos alométricos permitieron obtener los mejores resultados para la estimación de biomasa a nivel de individuos y de vástagos.
- Para efectos de la estimación de biomasa del individuo, las variables más relacionadas con esta corresponden al área basal, el diámetro de copa y la altura.
- A nivel de vástagos, la mejor variable predictora es el diámetro, por lo que se mantiene la tendencia que a medida que aumenta el diámetro basal aumenta la biomasa de hojas y fuste, no así con la variación de la altura.

Producción y productividad

- Para densidades entre de 480 y 1.420 árboles/ha, la producción de hojas es de 1,2 y 2,2 t/ha respectivamente. Mientras que para la biomasa fustal es de 6,2 y 8,7 t/ha para las mismas densidades.

- En promedio un individuo de boldo, aumenta su biomasa foliar anualmente en 160 g, mientras el incremento en biomasa fustal es de 300 g/año.
- La productividad de una formación de boldo en biomasa foliar son 196 kg/ha/año, mientras que en biomasa fustal corresponde a 833 kg/ha/año. A su vez, la productividad en biomasa total es de 971 kg/ha/año.

6. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE, S. e INFANTE, P. 1988. Funciones de biomasa para boldo (*Peumus boldus* Mol.) y espino (*Acacia caven* Mol.) de la zona central de Chile. En Ciencia e Investigación Forestal. 2(3): 45-50.
- BANNACH, R. 1993. Evaluación y caracterización de las propiedades antioxidantes y citoprotectoras de la boldina. Tesis para optar al título de Bioquímico. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 95 p.
- BOWN, H. 1992. Biomasa en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) en la Provincia de Última Esperanza, XII Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 75 p.
- CALDENTEY, J. 1990. Productividad de los bosques esclerófilos y espinosos. En: Opciones Silviculturales de los Bosques Esclerófilos Espinosos de la Zona Central de Chile. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. Apuntes Docentes N° 3. 27-38 p.
- CONAF, 1997. Productos forestales no tradicionales. Documento del Proyecto de Conservación y Manejo sustentable del Bosque Nativo. 58 p.
- CROWN, 1979. Common regression to estimate tree biomass in tropical stands. Forest Science. 24 (1): 110-114.
- DONOSO, C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo N° 38. Santiago. FAO, PNUD, CONAF (FO: DP/CHI/76/003). 82 p.
- DONOSO, S. 2001. Aspectos del desarrollo de las plantaciones. Apuntes de cátedra. Silvicultura de Plantaciones. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 38 p.

- GAJARDO, R. 1990. Descripción de los bosques esclerófilos y espinosos. En: Opciones Silviculturales de los Bosques Esclerófilos Espinosos de la Zona Central de Chile. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. Apuntes Docentes N° 3. 3-18 p.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 165 p.
- GAJARDO, M. y VERDUGO, R. 1979. Rendimientos de hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.), corteza de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y carbón de espino (*Acacia caven* Mol.) en la V Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 96 p.
- HOFFMANN, A. 1981. Seasonal growth rhythms in *Peumus boldus*, a dioecious tree of the Chilean Mediterranean vegetation. *Acta Oecológica/Oecológica Plantarum* 2 (16): 31-39.
- HOMANN, C. y MATTE, V. 1967a. Para el conocimiento de la silvicultura del boldo (*Peumus boldus* Mol.). *Boletín de la Universidad de Chile. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Chile.* (76-79): 19-24
- HOMANN, C. y MATTE, V. 1967b. Contribución al conocimiento de la silvicultura del boldo (*Peumus boldus* Mol.). *Actas de III Jornadas Forestales. Valdivia.* 48-52 p.
- INFOR – CONAF. 2003. Exportaciones forestales chilenas. *Boletín estadístico* 93. Diciembre 2003. Santiago. Chile. 143 p.
- KANNEGIESSER, U. 1987. Evaluación de biomasa y boldina en Boldo (*Peumus boldus* Mol.), VII región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 97 p.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. 2005. [En línea]. <<http://www.mapas.moppt.cl/>>. [Consulta: 05/04/2005].

- MONDACA, N. 1997. Relación entre el hábito de crecimiento de *Lithraea caustica* (Mol.) H. et A. y la fitomasa foliar, en la Reserva Nacional Rio Clarillo, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 58 p.
- MONTECINOS, V. 2001. Influencia del hábito de crecimiento del Boldo (*Peumus boldus* Mol.), sobre la producción de fitomasa foliar. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 78 p.
- MONTENEGRO, G. 2000. Chile nuestra flora útil. Guía para uso apícola, medicinal, folclórica, artesanal y ornamental. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. 267 p.
- NAVAS, L. 1976. Flora de la cuenca de Santiago. Tomo I. Editorial Andrés Bello. Santiago. Chile. 301 p.
- NAVARRO, R. 1995. Efecto de intervenciones silviculturales sobre el crecimiento y la producción de fitomasa de *Acacia caven* en Melipilla, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 89p.
- NEWBOULD, P. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. IBP. Hanbook N° 2. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 59 p.
- PERALTA, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Editorial del Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 340 p.
- PARDÉ, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Products Abstract. Review Article. Agosto 1980. 3(8): 165-184.
- PIZARRO, S. 1989. Estudio fitosociológico estadístico de los bosques de boldo de la cuenca de Río Bueno (Chile). Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral. Valdivia. Chile. 80 p.

- PRADO, J. A.; INFANTE, P.; ARRAIGADA, M.; AGUIRRE, S. 1988. Funciones de biomasa para siete especies arbustivas en la IV Región. Documento de trabajo N° 14. CONAF/FAO/PNUD. Chile. 102 p.
- ROACH, F. 2001. Análisis prospectivo del mercado de hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.) y sus posibilidades de desarrollo. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 106 p.
- RODRÍGUEZ, R.; MATTEI, O.; QUEZADA, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Chile. 408 p.
- SANTELICES, R. y BOBADILLA, S. 1997. Arraigamiento de estacas de *Quillaja saponaria* Mol. y *Peumus boldus* Mol. En: Revista Bosque 18(2). Universidad Católica del Maule. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Talca. Chile. 77-85 p.
- SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J.M. 1993. Atlas agroclimático de Chile, regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Ministerio de Agricultura, Fondo de Investigación Agropecuaria. Corporación Nacional de Fomento. Santiago. Chile. 65 p.
- SAPAJ, A. 1988. Potencialidad del bosque esclerófilo del valle de Colliguay (V región) para la obtención de productos secundarios. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 108 p.
- SFEIR, J. 1990. Evaluación de la fitomasa y metabolitos de interés comercial en boldo (*Peumus boldus* Mol.), Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y Eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) en la VII región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 75 p.

- TELLER, A. 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a spruce (*Picea abies*) Forest (Strainchamps 1983). En *Commonwealth Forestry Review*. 67 (2): 129-139.
- TORAL, M. Y ROSENDE, R. 1986. Producción y productividad del quillay (*Quillaja saponaria* Mol.). *Renares* 3 (8): 49 – 53.
- TORAL, M.; KANNEGIESSEr, U. y ROSENDE, R. 1988. Biomasa y boldina en boldo (*Peumus boldus* Mol.) VII Región. En: *Ciencia e Investigación Forestal* Vol. 2, N° 4. Infor. 15-25 p.
- TROBOK, S. 1979. El boldo. En: *Revista del Campo*. 11/09/1979. Página 6.
- TROBOK, S. 1983. Explotación racional del boldo. En: *Revista del Campo*. 23/07/1983. Página 10.
- VITA, A. 1993. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile. *Investigación y Desarrollo de Áreas Silvestres en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile*. CONAF, PNUD, FAO. Santiago, Chile. Documento de Trabajo N° 21, 2° ed., 235 p.
- YATES, L. 1985. Dinámica del nitrógeno en arbustos del matorral precordillerano de la zona semiárida de Chile. *Medio Ambiente* 7(2): 73 – 84.

APENDICES

APENDICE N° 1

Análisis de Varianza (ANDEVA) para la biomasa foliar estimada a nivel de individuos por parcela entre el modelo seleccionado y de Montecinos.

PARCELA 1

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	3975108,58	3975108,58		
ERROR	126	100423231,1	797009,7705	4,98	3,84
TOTAL	127	104398339,7			

PARCELA 2

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	9407929,705	9407929,705		
ERROR	102	203954898,2	1999557,826	4,71	3,92
TOTAL	103	213362827,9			

PARCELA 3

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	9455703,656	9455703,656		
ERROR	82	192206705,3	2343984,211	4,03	3,96
TOTAL	83	182751001,7			

APENDICE N° 2

Análisis de Varianza (ANDEVA) para la biomasa foliar estimada a nivel de vástagos por parcela entre el modelo seleccionado y de Montecinos.

PARCELA 1

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	390529,2434	390529,2434		
ERROR	126	186191882,9	1477713,356	0,26	3,84
TOTAL	127	186582412,1			

PARCELA 2

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	433408,3068	433408,3068		
ERROR	102	366474036,8	3592882,713	0,12	3,92
TOTAL	103	366907445,1			

PARCELA 3

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F (1-α = 0,95)
TRATAMIENTO	1	221470,2964	221470,2964		
ERROR	82	386084588,6	4708348,641	0,047	3,96
TOTAL	83	386306058,9			

APENDICE N° 3

Área basal de los vástagos de boldo por parcela

DAP CLASE (cm)	PARCELA 1 Área basal (m²/ha)	PARCELA 2 Área basal (m²/ha)	PARCELA 3 Área basal (m²/ha)
0,6	0,127	0,024	0,029
1,6	1,186	0,338	0,414
2,6	2,441	1,019	1,146
3,6	1,628	1,506	0,977
4,6	1,395	1,462	0,897
5,6	0,886	0,837	0,739
6,6	0,684	0,479	0,616
7,6	0	0	0,272
8,6	0	0	0,348
9,6	0,145	0	0,434
10,6	0,176	0,529	0,353
11,6	0,634	0,845	0,634
TOTAL	9,302	7,039	6,859