

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA ÁEREA Y
DEL RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL Y BOLDINA, DE
BOLDO (*Peumus boldus* Mol.) EN LA COMUNA DE PAPUDO,
V REGIÓN**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

MARCELO RODRIGO ESPIC PARDO

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

SANTIAGO - CHILE.
2007

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA ÁEREA Y DEL
RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL Y BOLDINA, DE BOLDO (*Peumus
boldus* Mol.) EN LA COMUNA DE PAPUDO, V REGIÓN**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

Marcelo Rodrigo Espic Pardo

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Sergio Donoso	7,0
Prof. Guía Sr. René Carmona	6,7
Prof. Consejero Sra. María Teresa Serra	6,7
Prof. Consejero Sr. Juan Caldentey	6,5

SANTIAGO-CHILE

2007

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias de todo corazón a todas las personas que me apoyaron y que contribuyeron de una manera u otra, a lograr mi meta, ser un ingeniero forestal.

A los profesores Sergio Donoso y Karen Peña, por darme la oportunidad de trabajar con ellos en sus proyectos, sobre todo al profe Sergio, que siempre me brindó su apoyo y confió en mí.

Al profesor René Carmona, por sus consejos y exigencias, que ayudaron a lograr este valioso documento. A la profesora María Teresa Serra y al profesor Juan Caldentey por sus críticas, siempre constructivas.

A mis padres, por su apoyo incondicional, durante toda la carrera, y sobre todo en esta última etapa, ayudándome a encontrar soluciones a los problemas que tuve que enfrentar.

Quiero agradecer profundamente al amor de mi vida Soledad, quien me apoyó de manera incondicional en todo momento y circunstancia.

A María Soledad González por el apoyo logístico y su buena disposición cada vez que lo necesité.

A mis amigos, Antonio, Francisco, Bruno, Ariel y Matías, con los que compartí durante mi época universitaria, aquellas jornadas eternas de estudio y camaradería.

Al equipo del Centro de Semillas de la Facultad, en especial a Ivan y a Jano.

A todos quienes recluté en la ardua labor de deshojar, a Guti, David, a mi hermana Pachi, a mi mamá, a Flavia, Toño y Sole. Muchas gracias.

RESUMEN

Boldo (*Peumus boldus* Mol.), actualmente es reconocido a nivel mundial por sus múltiples propiedades medicinales, las que son atribuidas a ciertos principios activos presentes en los componentes aéreos de la especie. Los principios activos de mayor interés comercial son la boldina y el aceite esencial, considerados los principales responsables de las propiedades hepatoprotectora, antioxidante y antiparasitaria, entre otras.

El presente trabajo evalúa la producción de biomasa aérea y el rendimiento en aceite esencial y boldina, de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en una formación vegetal esclerófila de la V Región, estimando la biomasa aérea por componentes y comparando los rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina en hojas secadas a diferentes temperaturas.

Se estimó la biomasa para los componentes foliar, corteza, fustal (fuste y ramas) y total. El modelo que mejor se ajustó a los pesos secos de todos los componentes aéreos de boldo fue el modelo potencial, utilizando como variable predictora el DAP (diámetro medido a 1,3 metros). El modelo de estimación de biomasa para el componente ramilla no fue validado.

La biomasa foliar estimada para una superficie de 311 hectáreas fue de 493 toneladas, la biomasa de corteza estimada fue de 5,5 toneladas, mientras que la biomasa fustal estimada fue de 3.268 toneladas, correspondientes al 13, 0,2 y 86,8% respectivamente de la biomasa aérea total. Estas estimaciones se reducen aproximadamente en un 48% debido a la menor superficie potencialmente aprovechable (135 ha).

Para comparar los rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina, se analizaron hojas de boldo secadas al aire libre (T0) y en horno de aire forzado a 30°C (T1) y 65°C (T2).

Los rendimientos de aceite esencial de hojas de boldo variaron entre 2,1 y 3,4%, con contenidos de ascaridol entre 54,7 y 79,3% del aceite esencial; y rendimientos de alcaloides entre 0,1 y 0,3% con contenidos de boldina entre 7,3 y 23,8%.

Los rendimientos de aceite esencial, alcaloides y boldina no presentaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de secado. Por el contrario el rendimiento de ascaridol del aceite esencial extraído, presentó diferencias significativas para el tratamiento de secado T1 (30° C) con respecto a T0 (natural) y T2 (65° C). Los mayores rendimientos de ascaridol del aceite esencial extraído, obtenidos por el tratamiento T1, indican una influencia de la temperatura en la composición del aceite esencial, cuando las hojas son secadas a 30 ° C.

Para la superficie evaluada se estimó una producción de biomasa foliar potencialmente aprovechable de 257 toneladas, de las cuales se pueden obtener aproximadamente 6.730 litros de aceite esencial y 470 kg de alcaloides, de estos últimos, 71 kg corresponden a boldina.

Palabras claves: aceite esencial, biomasa, boldina, *Peumus boldus* Mol.

SUMMARY

Boldo (*Peumus boldus* Mol.) currently is world level recognized because of its multiple medicinal properties, which are attributed to certain active principles present in the aboveground components of the species. The active principles of greater commercial interest are the boldina and the essential oil, considered as the main responsible of the hepatoprotector properties, antioxidant and antiparasitarian, among others.

The current work evaluates the aboveground biomass production and the yield of boldo's oil essential and boldina in mediterranean vegetal formation of the V Region, estimating the aboveground biomass components and comparing the yield of essential oil, ascaridol, alkaloids and boldina in different dried leaves temperatures.

The biomass was estimated for the foliar, bark, stem (wood and small branches) and total components. The model which best fitted to the dried weights of all boldo aboveground components was the potential model using the DAP (1,3 meters measured diameter) as a prediction variable. The biomass estimation model for the small branch component was not validated.

The estimated foliar biomass for a 311 hectare surface was 493 tones, the estimated bark's biomass was 5,5 tones, while the estimated stem biomass was 3.268 tones, corresponding to the 13,0; 0,2 and 86,8% respectively. These estimates are approximately reduced in a 48% due to the smaller surface potentially exploited (135 ha).

To compare the essential oil, ascaridol, alkaloids and boldina yields, boldo leaves dried in the air (T0) and in forced air oven at 30° C (T1) and 65° C (T2) were analyzed.

The essential oil yield of boldo's leaves varied between 2,1 and 3,4% with ascaridol contents between 54,7 and 79,3% of essential oil. The alkaloids yields varied between 0,1 and 0,3% with boldina contents between 7,3 and 23,8%.

The yields of the essential oil, alkaloids and boldina did not show significant differences between the three treatments. On the contrary, ascaridol yield of the extracted essential oil, showed significant differences for the drying treatment T1 (30° C) with regard to T0 (natural) and T2 (65° C). The higher ascaridol outputs of the extracted essential oil obtained from the T1 treatment, indicate an influence of the temperature in the essential oil composition, when the leaves are dried at 30° C.

For the assessed surface, it was estimated a foliar biomass production potentially obtained of 257 tones, from which it can be obtained approximately 6.730 liters of essential oil and 470 kg. Of alkaloids, from the latest ones, 71 kg. correspond to boldina.

Key words: Essential oil, biomass, boldina, *Peumus boldus* Mol.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Aspectos generales de la especie.....	2
2.2 Biomasa.....	3
2.2.1 Métodos de estimación de biomasa	3
2.2.2 Biomasa en boldo	4
2.3 Aceites esenciales y alcaloides	5
2.3.1 Métodos de extracción y cuantificación de aceites esenciales y alcaloides.....	5
2.3.2 Aceites esenciales en boldo	6
2.3.3 Alcaloides en boldo	7
3. MATERIAL Y METODO	8
3.1 Material.....	8
3.1.1 Ubicación del área de estudio	8
3.1.2 Clima	8
3.1.3 Vegetación.....	8
3.1.4 Tipificación de los bosques de boldo.....	9
3.2 Método.....	10
3.2.1 Método para estimar la producción de biomasa por componentes y total	10
3.2.2 Método para evaluar el rendimiento de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina de hojas secadas a diferentes temperaturas	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1 Caracterización de la muestra.....	15
4.2 Estimación de la producción de biomasa aérea por componentes y total	15
4.2.1 Selección de los modelos	15
4.2.2 Validación de los modelos seleccionados	19
4.2.3 Producción de biomasa	20
4.3 Rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina en hojas de boldo secadas a diferentes temperaturas	23
4.3.1 Rendimientos de aceite esencial y ascaridol en hojas de boldo	23
4.3.2 Rendimientos de alcaloides y boldina en hojas de boldo	26
4.3.4 Rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides totales y boldina de hojas por superficie	28
5. CONCLUSIONES.....	29
6. BIBLIOGRAFÍA	30

1. INTRODUCCIÓN

Boldo (*Peumus boldus* Mol.), es una especie arbórea ampliamente utilizada en la obtención de diferentes productos medicinales. Actualmente, las hojas de boldo son el principal producto comercializado.

La acción terapéutica de las hojas de boldo es ampliamente reconocida a nivel mundial y se indica que su actividad farmacológica no depende de un solo constituyente, sino más bien de un complejo de principios activos entre los que se encuentran alcaloides, aceites esenciales, taninos, flavonoides y glucósidos (Roach, 2001). Speisky (1991), señala a la boldina y a los aceites esenciales como los principios activos que aparecen más relacionados con las propiedades medicinales de la especie.

Roach (2001), señala que la competitividad de los productos derivados del boldo y de otras plantas medicinales es altamente dependiente de la investigación científica. Mejoras en la calidad del producto, a través de cambios en cuanto a técnicas de cultivo y manejo, en las técnicas de post-cosecha y del procesamiento industrial del producto, asegurarían la consolidación y apertura de nuevos mercados.

Considerando el potencial económico que presenta boldo, es importante desarrollar estudios que evalúen la producción de hojas, en aquellas áreas donde la especie está presente como una alternativa de producción. Además, se deben buscar alternativas tecnológicas que mejoren las deficiencias en la producción y comercialización de las hojas de boldo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar la producción de biomasa aérea y el rendimiento en aceite esencial y boldina, de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en una formación vegetal esclerófila.

Los objetivos específicos fueron; estimar la producción de biomasa aérea total y por componentes de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en una formación esclerófila y evaluar el efecto de la temperatura de secado de hojas, comparando los rendimientos de aceite esencial total, ascaridol, alcaloides y boldina en hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.) secadas a diferentes temperaturas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos generales de la especie

El boldo (*Peumus boldus* Mol.) es un árbol o arbusto dioico siempreverde, de follaje denso y aromático, de la familia Monimiaceae. Es una especie endémica que crece desde la Provincia del Limarí hasta la Provincia de Osorno; en su distribución norte **sólo** crece en la Cordillera de la Costa, al sur de la VI región se encuentra en ambas cordilleras, pero solo hasta 600-700 m.s.n.m. en la Cordillera de Los Andes (Montes y Wilkomirsky, 1978).

En la zona central el boldo pertenece al tipo forestal esclerófilo, encontrándose en las exposiciones sur de las áreas costeras junto a *Cryptocarya alba* (peumo), *Beilschmiedia miersii* (belloto del norte) y *Azara spp.* (lilén) (Donoso, 1993). En sectores costeros erosionados o degradados, el boldo se encuentra asociado con *Trevoa trinervis* (trevo), generando un matorral denso; mientras que en laderas orientales de la Cordillera de la Costa, aparece junto a *Lithraea caustica* (litre) (Gajardo, 1990). En la zona sur de su distribución crece en laderas intermedias y en exposiciones sur formando parte del denominado bosque esclerófilo del Maule (Vita, 1989). Las exigencias del boldo en precipitaciones son escasas, es poco resistente a las heladas y se adecua a períodos largos de sequía (Homann, 1968).

Esta especie, debido a su contenido de aceite esencial y alcaloides tiene propiedades medicinales reconocidas (Van Ginkel, 1999). El aprovechamiento se basa fundamentalmente en la extracción de sus hojas. Tradicionalmente la infusión de las hojas de boldo se ha utilizado con fines medicinales, se le ha atribuido propiedades para curar o aliviar indigestiones, afecciones hepáticas, dolores de cabeza, reumatismo, entre otras (Van Ginkel, 1999; Montenegro, 2000).

El mercado de hojas de boldo, está principalmente orientado a satisfacer las necesidades y requerimientos internacionales de las industrias alimentarias y de productos medicinales (Roach, 2001).

En cuanto a los demás componentes aéreos de la especie, estos también presentan diversos usos; la madera de boldo se caracteriza por ser densa, relativamente durable y

aromática, utilizada en trabajos menores de carpintería y tornería, también utilizada como fuente de energía calórica en forma de leña y carbón (Goor, 1964 citado por Roach, 2001). La corteza se utiliza en curtiembres y cordelería artesanal (Martín, 1984 citado por Roach, 2001). Además, su denso follaje y abundante floración invernal, tanto en su forma arbórea como arbustiva le dan a esta especie un alto valor ornamental (Rodríguez, 1987 citado por Roach, 2001).

2.2 Biomasa

La biomasa corresponde a la cantidad de materia viva presente en un momento dado en un sistema biológico, expresada en unidades de peso seco por unidad de superficie (Newbould, 1967). Esta puede ser utilizada para determinar la distribución de materia orgánica en el sistema, como también para catalogar, en forma de inventario, la cantidad de materia biológica disponible en un momento y ambiente determinado, además de medir cantidades reales y potenciales de variados productos como madera, frutos, hojas, corteza, etc. (Pedrasa, 1989). La evaluación de la biomasa presente en los distintos componentes de un individuo, permite estimar el potencial productivo de un ecosistema boscoso (Montecinos, 2001).

2.2.1 Métodos de estimación de biomasa

Los métodos más utilizados para estimar biomasa son el método del árbol medio y el método regresional (Bown, 1992). El método del árbol medio, asume que el árbol de dimensiones medias del rodal también posee la biomasa media. Su mayor inconveniente es la imposibilidad de encontrar un árbol medio en todas las características (Madgwick, 1973 citado por Bown, 1992). Por su parte, el método regresional o también llamado método alométrico relaciona el peso seco como variable dependiente, con el DAP (diámetro medido a 1,3 m) o alguna otra variable independiente, utilizando regresiones logarítmicas para predecir la biomasa total y de los componentes de los árboles (Madgwick, 1973 citado por Bown, 1992). Las ecuaciones potenciales ($Y = a \cdot X^b$) son unas de las recomendadas por la bibliografía, presentan gran flexibilidad y han sido ampliamente utilizadas en estudios de biomasa forestal, dichos estudios coinciden en que el DAP es la variable independiente, que mejor describe la biomasa de fustes y raíces (Bown, 1992).

Montecinos (2001) y Durán (2005), basados en el método regresional ajustaron tres modelos para estimar la biomasa aérea de boldo a nivel de vástago: lineal, exponencial y potencial, siendo el modelo exponencial y potencial respectivamente, los que permitieron obtener los mejores resultados.

2.2.2 Biomasa en boldo

Diferentes estudios de biomasa en boldo han permitido determinar: la distribución de los componentes, las variables predictoras que mejor explican el desarrollo del individuo y estimaciones de la producción de biomasa por superficie (Durán, 2005)

Kannegiesser (1987), señala que la distribución de biomasa entre los componentes aéreos es de 51.6, 34.8, 9.5 y 4.1 por ciento del peso seco total para fuste, ramas, hojas y corteza respectivamente. Aguirre e Infante (1988), determinaron que el 84% del peso seco total se distribuye en el material leñoso del árbol y solo el 16% corresponde a las hojas.

Con respecto a las variables que mejor explican la producción de biomasa aérea de vástagos, Durán (2005), indica que la mejor variable predictora es el diámetro del fuste, 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. Kannegiesser (1987), destaca el DAP y la altura total del individuo. Montecinos (2001), señala que el diámetro del vástago y el diámetro mayor de copa son las variables más significativas en la estimación de biomasa foliar. Aguirre e Infante (1988) mencionan el diámetro menor de copa, el diámetro mayor de copa y la altura total como las variables que mejor explican el comportamiento de los distintos componentes de la biomasa. En el cuadro 1 se presentan estimaciones de biomasa foliar y total boldo realizadas en estudios de biomasa de rodales naturales de boldo en años anteriores, en diferentes regiones del país.

Cuadro 1: Estimaciones de biomasa foliar y total de boldo realizadas en diferentes localidades.

ESTUDIOS DE BIOMASA ÁEREA DE BOLDO	LOCALIDAD (REGIÓN)	DENSIDAD (árboles/ha)	BIOMASA FOLIAR (t/ha)	BIOMASA TOTAL (t/ha)
Kannegiesser(1987)	VII	440	0,42	4,4
Montecinos (2001)	VI	462	1,2	-
Durán (2005)	Metropolitana	480 – 1420	1,2 – 2,2	6,8 – 10,6

2.3 Aceites esenciales y alcaloides

Los aceites esenciales naturales son sustancias aromáticas, muy volátiles, que en su mayoría proceden del reino vegetal (FAO, 1996). Las esencias son compuestos terpénicos y los terpenos están formados por largas cadenas de un hidrocarburo dietilénico, el isopreno. Como los isoprenos pueden unirse entre sí de muchas formas, el número de esencias es muy alto (Muñoz, 2002).

Por su parte, los alcaloides son componentes nitrogenados cuya función en la planta no está bien determinada. Su química es compleja y son clasificados, según la composición de su núcleo, en una quincena de grupos diferentes (Muñoz, 2002). En los animales producen algún tipo de reacción fisiológica (somnolencia, calmante, estimulante, tóxica, u otras). Los alcaloides son sustancias cristalinas bien definidas que en unión con ácidos, forman sales. El conocimiento de la solubilidad de los alcaloides y de sus sales posee considerable importancia farmacéutica. No sólo porque con frecuencia se administran productos alcaloídicos en solución, sino porque las diferencias de solubilidad entre los alcaloides y sus sales dan lugar a métodos para su aislamiento a partir de las plantas (Backhouse, 2004).

2.3.1 Métodos de extracción y cuantificación de aceites esenciales y alcaloides

Existen varias formas de extraer aceites esenciales desde el material vegetal, cada una con diferentes ventajas y desventajas, técnicas y económicas. Entre los métodos destacan: la destilación por arrastre de vapor, la extracción con solventes y la extracción supercrítica. (Uauy, 1998).

La destilación es un método antiguo y eficiente, de gran uso en la industria de aceites esenciales, y especialmente usado en industrias medianas y pequeñas. El principio que rige la destilación es el aporte de calor latente desde el vapor de agua hacia el aceite, lo cual es promovido por un gradiente de temperatura. El método consiste en cargar el material vegetal en un estanque por el cual se pasa vapor generado interna o externamente desde abajo hacia arriba. El vapor que sube por el estanque arrastra los aceites esenciales, la mezcla gaseosa producida es condensada para que se produzca la separación de la mezcla aceite-agua (Uauy, 1998).

La extracción con solventes, es un método eficiente y de utilización en laboratorios, que no se utiliza comúnmente en el ámbito industrial. La extracción supercrítica es un método relativamente nuevo que presenta buenos rendimientos y alta calidad de aceites, pero con la inconveniencia de requerir una alta inversión (Uauy, 1998).

Los métodos de cuantificación de los alcaloides varían según la magnitud y la finalidad de la operación, así como de la materia prima. Para muchos fines de investigación, la cromatografía da resultados rápidos y precisos (Backhouse, 2004).

La cromatografía es, esencialmente, un método físico de separación, en el cual los componentes a separar se distribuyen en dos fases: fase estacionaria y fase móvil, esta técnica analítica instrumental es capaz de proporcionar información tanto cualitativa como cuantitativa acerca de la composición de la mezcla (McNair, 1981).

Se pueden distinguir dos tipos de cromatografía: cromatografía gaseosa y cromatografía líquida. En la cromatografía gaseosa (GC) el transporte de la muestra a través de la fase estacionaria (columna) se realiza con un gas inerte. Así, se pueden separar por esta técnica muestras volátiles. Para compuestos con poca volatilidad suele emplearse la cromatografía líquida (LC), en la cual la fase móvil es un líquido en el cual los componentes de la muestra deben ser solubles, realizándose la mayoría de estas separaciones a temperatura ambiente (McNair, 1981).

2.3.2 Aceites esenciales en boldo

Montes y Wilkomirsky (1992), informan sobre un contenido promedio de aceite esencial en hojas de boldo secas de 1 a 2%. Investigaciones anteriores mencionan contenidos de aceite esencial entre 2 y 2,6%, identificando entre sus componentes: cineol (30%), ascaridol (45%), terpineol, p-cimol, eugenol y α -pineno (Montes y Wilkomirsky, 1978).

Vogel *et al.* (1997), estudiaron los rendimientos de aceite esencial y alcaloides en diferentes poblaciones de boldo y sus variaciones estacionales. Para ello, extrajeron aceite esencial de hojas de boldo utilizando el método de destilación por arrastre de vapor. La composición del aceite esencial extraído se analizó mediante cromatografía gaseosa (GC), estableciendo que el contenido de aceite esencial en las hojas de boldo presenta fluctuaciones en el transcurso de un año, con un mínimo significativo durante el

verano (1%). Entre las poblaciones Norte (V Región), Centro (VII Región) y Sur (IX Región), los árboles del centro presentaron valores de aceite esencial significativamente más altos que las demás localidades (1,98 %). Con respecto al contenido de ascaridol, las mayores concentraciones (58,1 %) fueron obtenidas en la población del norte (Cuesta La Dormida).

Entre los diferentes hidrocarburos que componen el aceite esencial de las hojas de boldo, el ascaridol tiene un especial interés debido a que es el causante del efecto antiparasitario de la planta, este compuesto en dosis elevadas puede producir serios efectos colaterales como dolor de cabeza, taquicardia, postración y ha llegado a producir la muerte por paro respiratorio (Gupta, 1995).

2.3.3 Alcaloides en boldo

La boldina es el principal alcaloide existente en el boldo, y se encuentra presente en todos los componentes de la parte aérea (Speisky, 1991). Entre los principales efectos farmacológicos la boldina se considera como una sustancia antioxidante (Speisky, 1991; Jiménez, 1990).

La concentración de alcaloides en hojas de boldo varía entre el 0,2 y 0,5% y su mayor componente boldina corresponde al 25-30 % de los alcaloides totales (Montes y Wilkomirsky, 1992). Además de la boldina, se han aislado e identificado otros alcaloides de las hojas de boldo: esparteína, reticulina, isoboldina y lauretetanina (Montes y Wilkomirsky, 1978).

3. MATERIAL Y METODO

3.1 Material

3.1.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica entre las coordenadas UTM Norte: 6.408.705 a 6.413.934 y este: 275.100 a 287.800. Correspondiente al predio de bien común perteneciente a la Comunidad de Pullally, ubicada en la Comuna de Papudo, Provincia de Petorca, V Región. Está 16 kilómetros al norte de la ciudad de La Ligua y a 160 kilómetros de Santiago. Se accede a Pullally por la Carretera Panamericana 5 Norte, al lado oriente de la carretera, se ubica el villorrio y bien común n° 4.

3.1.2 Clima

El predio se encuentra en una zona de clima templado mesotermal mediterráneo semiárido. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación media anual de 447 mm, un déficit hídrico de 949 mm y un período seco de 8 meses. El régimen térmico registra temperaturas que varían en promedio, entre una máxima de 27,4 °C (Enero) y una mínima de 6,1°C (Julio), un período libre de heladas de 339 días, con un promedio de una helada por año (Santibáñez y Uribe, 1990).

3.1.3 Vegetación

El área correspondiente a la Comunidad de Pullally cubre una superficie de aproximadamente 2.906 ha, dentro de las cuales una superficie de 1.428 ha corresponde a formaciones boscosas de diferentes tipos, predominando las dominadas por peumo (*Cryptocarya alba*), matorrales bajos, peumo - molle (*Cryptocarya alba* - *Shinus latifolius*) y boldo (*Peumus boldus*). Esta última formación ocupa una superficie de 311 ha, teniendo el bosque de boldo un porcentaje de participación en la formación boscosa del 21,7%.

3.1.4 Tipificación de los bosques de boldo

González y Aguirre (2006) identificaron espacialmente las formaciones vegetacionales del área en estudio y subdividieron la superficie dominada por boldo en dos categorías de acuerdo al grado de cobertura de la especie: bosque ralo y bosque semidenso.

El bosque ralo cubre una superficie total de 89,1 hectáreas, dominadas principalmente por las especies Boldo (*Peumus boldus*), Molle (*Schinus latifolius*) y Peumo (*Cryptocarya alba*), con una densidad de 1.440 vástagos de boldo por hectárea y un área basal de 1,99 m²ha⁻¹. La distribución diamétrica varía entre las clases diamétricas 1 y 12 cm, con una mayor frecuencia de vástagos en las clases menores (Cuadro 2).

El bosque semidenso por su parte, cubre una superficie total de 221,9 hectáreas, dominadas principalmente por las especies Boldo, Molle y Peumo, con una densidad de 3.856 vástagos de boldo por hectárea y un área basal de 4,7 m²ha⁻¹. La distribución diamétrica varía entre las clases diamétricas 1,5 y 25,5 cm, con una mayor frecuencia de vástagos en las clases menores (Cuadro 2).

Cuadro 2: Distribución diamétrica de los vástagos del bosque de boldo denso y semidenso del área de estudio

BOSQUE RALO		BOSQUE SEMIDENSO	
Clase diamétrica (cm)	Nº vástagos/ha	Clase diamétrica (cm)	Nº vástagos/ha
0 - 2	510	0 - 3	2.260
2 - 4	465	3 - 6	1.244
4 - 6	260	6 - 9	260
6 - 8	120	9 - 12	68
8 - 10	55	12 - 15	16
10 - 12	25	15 - 18	0
12 - 14	5	18 - 21	0
-	-	21 - 24	4
-	-	24 - 27	4
TOTAL	1.440	TOTAL	3.856

Fuente: González y Aguirre (2006)

3.2 Método

3.2.1 Método para estimar la producción de biomasa por componentes y total

3.2.1.1 Selección y obtención de muestras

La selección de las muestra de vástagos se realizó de forma proporcional a la frecuencia de las clases diamétricas obtenidas en el inventario realizado por González y Aguirre (2006), en el diagnóstico forestal de Pullally.

Se cosecharon 24 vástagos, registrando para cada uno de ellos DAP y altura, luego fueron transportados en sacos a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile, donde se procedió a separar manualmente por componente: hojas, ramillas (diámetro menor a 2,5 mm), ramas y fustes.

Al momento de la cosecha los fustes con diámetros mayores (trozos rectos con diámetros superiores a 2,4 cm), fueron muestreados extrayendo rodelas de los extremos en cada trozo, rotulándolos para su posterior identificación. Adicionalmente, se registró el largo de cada trozo.

Las muestras fueron almacenadas por componente en bolsas de papel rotuladas según vástago, seccionando ramas y fustes para facilitar su almacenamiento.

3.2.1.2 Obtención de pesos secos

- Peso seco de hojas

Se pesó la totalidad de hojas frescas de cada vástago, posteriormente se extrajo una muestra de hojas por vástago. Las muestras fueron pesadas, almacenadas en bolsas de papel rotuladas según vástago y luego secadas en horno con aire forzado a una temperatura de 65° C, hasta llegar a peso constante. El peso seco de cada muestra fue proyectado al total de hojas, a modo de obtener el peso seco foliar para cada vástago extraído.

- Peso seco de ramillas, ramas y fustes

El material obtenido de ramillas, ramas y fuste fue secado en un horno de aire forzado a una temperatura de 65° C, hasta llegar a peso constante, obteniendo los respectivos pesos secos para cada vástago.

- Peso seco de fustes con diámetros mayores

Los pesos de los fustes con diámetros mayores, fueron obtenidos mediante la proyección de la densidad de la madera, al volumen total del trozo. La densidad se obtuvo a partir de probetas extraídas de las rodajas de cada trozo. Las probetas fueron saturadas en agua para posteriormente estimar su volumen. Luego fueron secadas en un horno de aire forzado a 65° C hasta llegar a peso constante, con el peso seco y volumen de cada probeta se calculó la densidad de la madera para cada trozo. El volumen de los trozos fue calculado utilizando la fórmula de Smalian.

- Peso seco de corteza

Los pesos secos del componente corteza, fueron obtenidos de igual forma que los pesos secos de fustes con diámetros mayores. Se utilizaron muestras de corteza de las rodajas de cada trozo.

- Peso seco total del vástago

El peso seco total del vástago fue calculado por la sumatoria de los pesos secos de hojas, ramillas, ramas, corteza y fuste correspondiente.

3.2.1.3 Desarrollo de los modelos

Mediante análisis regresional se procesó la información obtenida de los pesos secos y se generaron funciones estimadoras de biomasa para los componentes hoja, ramilla, corteza, fuste (ramas y fustes) y total.

Se ajustaron los modelos lineal, exponencial y potencial, usados por Durán (2005) y Montecinos (2001). Las variables independientes utilizadas en el análisis fueron DAP y altura.

Para cada componente se seleccionó la función estimadora de biomasa que mejor se ajustó a los pesos secos de la muestra, usando criterios estadísticos tales como mayor coeficiente de determinación, menor error estándar de estimación y homogeneidad de los residuos.

Para la validación de los modelos seleccionados se utilizó el 10 % de la muestra extraída, la que no fue empleada en el desarrollo de las funciones. A partir de la muestra se determinó el error cuadrático medio (Caldentey, 1989 citado por Montecinos, 2001)

3.2.1.4 Producción de biomasa

La producción de biomasa aérea por componente y total fue calculada utilizando las funciones de estimación de biomasa seleccionadas. Se estimó la biomasa por componente y total para las diferentes clases diamétricas propuestas por González y Aguirre (2006). La biomasa estimada para cada clase fue ponderada por el número de vástagos por superficie, obteniendo así la producción de biomasa aérea de la superficie en estudio.

3.2.2 Método para evaluar el rendimiento de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina de hojas secadas a diferentes temperaturas

Se realizaron tres tratamientos de secado de hojas: secado natural (T_0), secado a 30 °C (T_1) y secado a 65 °C (T_2), hasta obtener contenidos de humedad cercanos al 10%.

Las muestras de hojas utilizadas para los tratamientos de secado, fueron colectadas al momento de la cosecha de los vástagos y guardadas en bolsas de papel rotuladas según vástago. Luego fueron pesadas y almacenadas a una temperatura aproximada a 4° C.

Se colectaron muestras de hojas representativas de toda la copa en 14 vástagos, aproximadamente 500 g por vástago muestreado. Posteriormente fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile y almacenadas inmediatamente a 4° C. procurando que la pérdida de humedad de las hojas fuese mínima.

Cada muestra de hojas fue pesada y se extrajo de ella una alícuota que fue secada en horno de aire forzado a 65° C, hasta peso constante, a modo de conocer el contenido de humedad de cada muestra.

Las muestras de hojas por vástago fueron divididas en tres, para los tratamientos de secado T_0 , T_1 , T_2 . Las muestras para T_0 , fueron secadas a la sombra a temperatura ambiente (10 a 25 °C), para T_1 y T_2 en horno de aire forzado a 30° C y 65° C respectivamente, hasta llegar a los pesos correspondientes a un 10% de contenido de humedad. Una vez obtenidos los pesos deseados para cada tratamiento, se procedió a mezclar las hojas de cada tratamiento, obteniendo finalmente una muestra combinada de hojas para cada tratamiento de secado.

La determinación del contenido de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina de las hojas de boldo para los tres tratamientos de secado, fue realizada en el Laboratorio de Análisis Instrumental del Instituto de Química de Recursos Naturales de la Universidad de Talca. Se efectuaron tres análisis químicos por cada tratamiento, para ello se enviaron tres submuestras de 145 g de hojas por cada tratamiento.

El porcentaje de aceite esencial fue determinado según la European Pharmacopoeia-Supplement 2001, mediante el método de destilación por arrastre de vapor, los resultados se expresan en milímetros de aceite esencial por 100 gramos de muestra. El ascaridol se cuantificó mediante cromatografía gaseosa (GC), usando para la identificación cromatografía gaseosa y espectroscopía de masa (GC-MS) y posterior cuantificación con cromatografía gaseosa y detector FID, los resultados se expresan en gramos por 100 gramos de aceite esencial. Los alcaloides se cuantificaron mediante la técnica de cromatografía líquida de alta presión (HPLC) recomendada por la European Pharmacopoeia-Supplement 2001. (2000:1396 corrected 2001), los alcaloides totales se expresan en gramos por 100 gramos de muestra y la boldina en gramos por 100 gramos de alcaloides totales.

La comparación de los rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina, se realizó en base a un diseño experimental completamente aleatorizado de tres tratamientos, con tres repeticiones cada uno. Los rendimientos obtenidos fueron comparados mediante un análisis de varianza simple para comprobar la hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de secado, si se rechaza la hipótesis los datos fueron evaluados mediante la prueba de comparación de rangos múltiples para evaluar si existen diferencias significativas. Los rendimientos obtenidos en aceite esencial total, ascaridol, alcaloides y boldina fueron analizados estadísticamente por separado.

Para estimar el contenido de aceite esencial, alcaloides y boldina en el área de estudio, los rendimientos obtenidos fueron ponderados por la biomasa foliar estimada, el aceite esencial fue expresado en litros y los alcaloides al igual que la boldina en kg.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la muestra

Los diámetros (DAP) de los vástagos muestreados variaron entre 1 y 16,5 cm. Por su parte, las alturas totales de los vástagos variaron entre 2,3 y 6,8 m.

Con respecto a los pesos secos obtenidos por componentes, los vástagos muestreados presentaron pesos secos de hojas entre 0,057 y 5,4 kg, ramillas entre 0,0067 y 0,585 kg, corteza entre 0,0015 y 0,317 kg, fuste entre 0,19 y 61,576 kg y total entre 0,263 y 67,818 kg.

4.2 Estimación de la producción de biomasa aérea por componentes y total

4.2.1 Selección de los modelos

Se generaron seis ecuaciones de estimación de biomasa por cada componente (3 modelos y 2 variables predictoras). La selección del modelo y de la variable predictora para estimar la biomasa por componentes y total se basó en los criterios estadísticos mencionados en el punto 3.2.1.3.

En el cuadro 4, la matriz de correlación muestra un buen nivel de significancia entre los pesos secos de los distintos componentes y la variable predictora DAP (0,89 – 0,94). Por otra parte, la altura presenta correlaciones algo más bajas (0,64 – 0,76).

Cuadro 4: Matriz de correlación de variables predictoras y pesos secos de los componentes.

	DAP	ALTURA	HOJAS	RAMILLAS	FUSTAL	TOTAL
DAP	1,00					
ALTURA	0,80	1,00				
HOJAS	0,93	0,65	1,00			
RAMILLAS	0,92	0,64	0,88	1,00		
CORTEZA	0,89	0,76	0,82	0,75		
FUSTAL	0,93	0,73	0,90	0,85	1,00	
TOTAL	0,94	0,73	0,92	0,86	1,00	1,00

El modelo que mejor se ajustó a los pesos secos de los componentes utilizando como variable predictora el dap fue el modelo potencial, obteniendo para todos los componentes el mayor coeficiente de determinación (R^2) y el menor error estándar de estimación (S_{xy}). Los pesos secos del fuste y total presentaron los mejores valores respecto a R^2 (0,97) y S_{xy} (0,2). Por el contrario el peso seco del componente ramilla presenta el más bajo R^2 (0,90), y el mayor S_{xy} (0,45).

En el cuadro 5, se observan los modelos seleccionados para estimar la biomasa total y por componentes basados en los criterios de mayor R^2 y menor S_{xy} .

Cuadro 5: Modelos seleccionados para estimar biomasa total y por componentes.

COMPONENTE	FUNCIÓN DE BIOMASA SELECCIONADA	FUNCIÓN LINEALIZADA	R^2	S_{XY}
HOJAS	$Y = 67,699 * X^{1,5584}$	$\ln Y = 4,215 + 1,5584 * \ln X$	0,921	0,362
RAMILLAS	$Y = 5,578 * X^{1,6994}$	$\ln Y = 1,719 + 1,6994 * \ln X$	0,900	0,449
FUSTE	$Y = 213,364 * X^{1,9912}$	$\ln Y = 5,363 + 1,9912 * \ln X$	0,970	0,275
CORTEZA	$Y = 0,015 * X^{3,4881}$	$\ln Y = -4,163 + 3,4881 * \ln X$	0,924	0,453
TOTAL	$Y = 288,87 * X^{1,9041}$	$\ln Y = 5,669 + 1,9159 * \ln X$	0,979	0,223

Donde: Y: Peso seco del componente (g)

X: DAP (cm)

R^2 : Coeficiente de determinación

S_{xy} : Error estándar de estimación

En la figura 1, se observa una distribución homogénea de los residuos de peso seco de los componentes a ambos lados del valor 0, indicando que se presenta un ajuste no sesgado y otorgándole consistencia a los modelos ajustados. Además es posible apreciar un buen comportamiento de los residuos con respecto a la variable predictora (DAP).

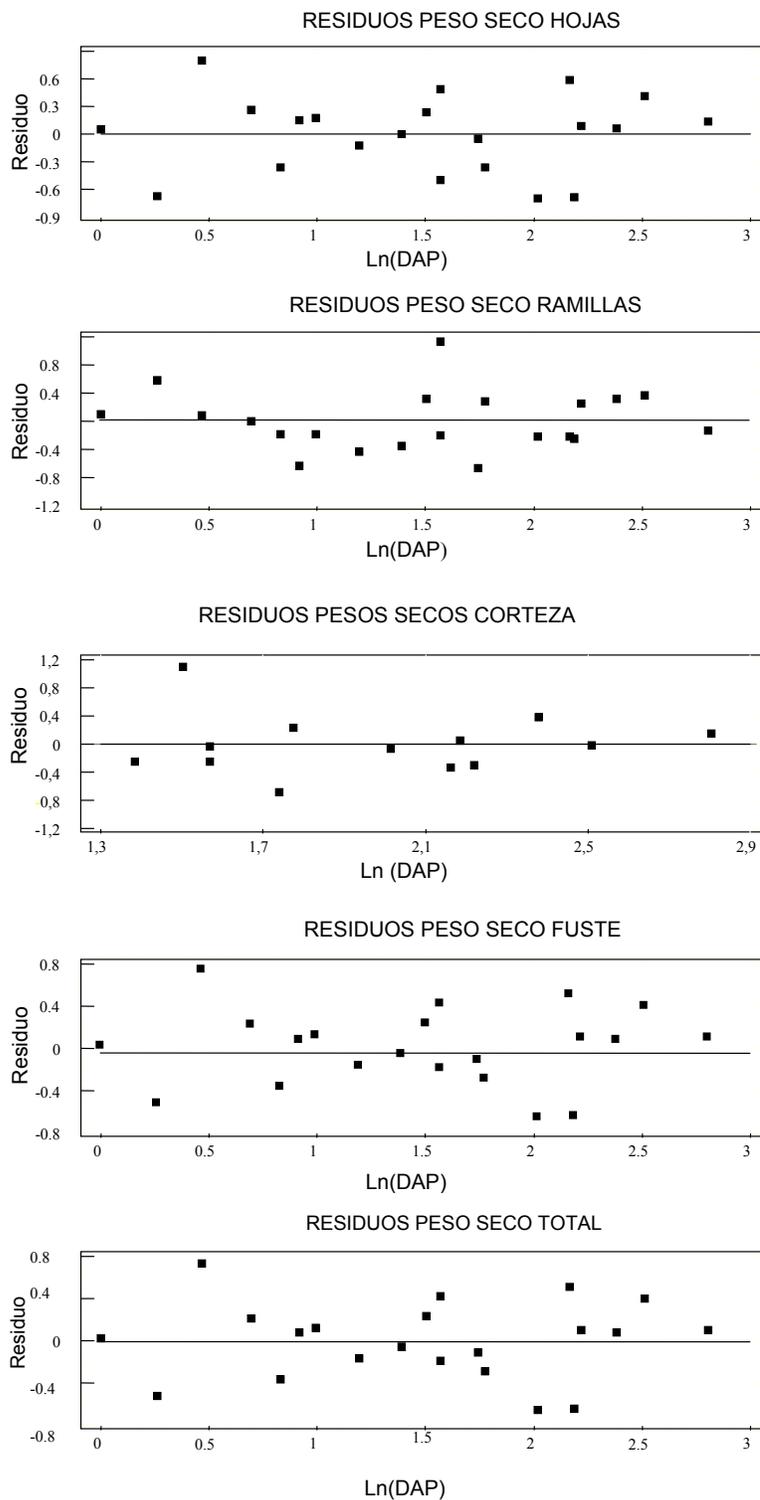


Figura 1: Residuos estandarizados de los modelos seleccionados por componente

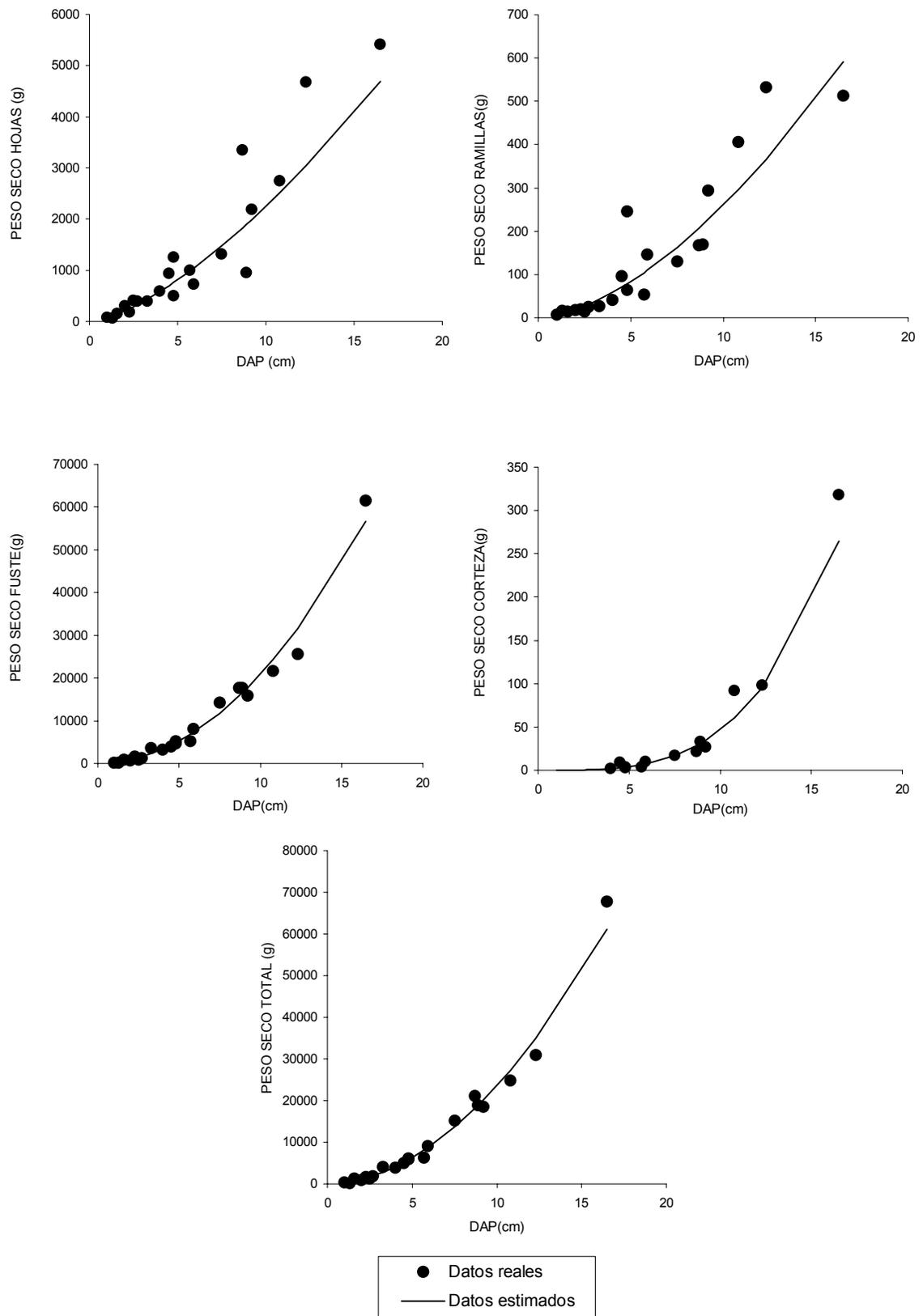


Figura 2: Valores de biomasa estimados por los modelos seleccionados, comparados con los pesos secos reales por componente.

La figura 2, permite apreciar la distribución de biomasa generada por los modelos de estimación seleccionados, comparada con la distribución de biomasa real. En general los modelos se ajustan a los valores reales, principalmente para los diámetros menores.

4.2.2 Validación de los modelos seleccionados

Los modelos seleccionados fueron validados mediante el error cuadrático medio (ECM), calculado con el 10% de la muestra. Caldentey (1989) citado por Montecinos (2001), menciona que el $ECM \leq 30\%$. Este criterio de validación se cumple para los componentes corteza (25,8%), fuste (23,3%) y total (15,9%). Por el contrario los componente hoja y ramilla presentan un 33,5 y 51,2 % de ECM respectivamente. Pardé (1980) citado por Montecinos (2001), menciona que la distribución de biomasa en fustes, ramas, hojas y raíces varía considerablemente con la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural, indicando además que 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. Prado *et al.* (1988), teniendo en cuenta la gran variabilidad que presentaban las especies en estudio consideraron aceptable hasta un 40% de ECM. Tomando en cuenta los antecedentes mencionados y considerando que el ECM del componente hoja (33.5) supera levemente el 30 % de ECM establecido como criterio de validación, el modelo de estimación de biomasa del componente hoja junto con los modelos de estimación de biomasa de los componentes corteza, fuste y total fueron validados para evaluar la biomasa aérea de boldo, excluyendo del análisis el componente ramilla.

Cuadro N° 6: Error cuadrático medio de los modelos seleccionados.

COMPONENTE	FUNCIÓN DE BIOMASA SELECCIONADA	ERROR CUADRÁTICO MEDIO (%)
HOJA	$Y = 76,4013 * X^{1,4685}$	33,5
RAMILLA	$Y = 6,0074 * X^{1,6369}$	51,2
CORTEZA	$Y = 0,015 * X^{3,4881}$	25,8
FUSTE	$Y = 213,364 * X^{1,9912}$	23,3
TOTAL	$Y = 294,1235 * X^{1,9041}$	15,9

4.2.3 Producción de biomasa

La biomasa aérea para los componentes hoja, corteza, fuste y total estimada con los modelos seleccionados se observa en el cuadro 7. Las funciones de biomasa aérea generadas por componentes no son aditivas. Por lo tanto existe una diferencia entre la biomasa total estimada y la suma de la biomasa estimada por los componentes, correspondiente a 0,33 ton/ ha, esta diferencia no es considerada en el análisis.

Cuadro 7: Biomasa estimada por hectárea para los componentes hojas, fuste y total en las subcategorías de bosque ralo y bosque semidenso.

TIPO DE BOSQUE	DENSIDAD (vástagos/ha)	BIOMASA HOJA (t/ ha)	BIOMASA CORTEZA (t/ ha)	BIOMASA FUSTE (t/ ha)	BIOMASA TOTAL (t/ ha)
RALO	1440	0,797	0,007	5,334	6,312
SEMIDENSO	3856	1,891	0,022	12,586	14,83

Al comparar las funciones de estimación de biomasa seleccionadas, con las funciones propuestas por Durán (2005), podemos observar diferencias significativas en la biomasa estimada por componentes y total (apéndice 1). La comparación de medias se realizó por separado para cada componente y tipo de bosque (Cuadro 8).

Cuadro 8: Comparación entre la biomasa foliar, fustal y total estimada por los modelos seleccionados y los modelos propuestos por Durán (2005).

TIPO DE BOSQUE	DENSIDAD (vástagos/ha)	MODELO UTILIZADO	BIOMASA FOLIAR (t/ ha)	BIOMASA FUSTAL (t/ ha)	BIOMASA TOTAL (t/ ha)
RALO	1440	SELECCIONADO	0,8 a	5,3 a	6,3 a
		DURAN (2005)	0,6 b	3,3 b	3,5 b
SEMIDENSO	3856	SELECCIONADO	1,9 a	12,6 a	14,8 a
		DURAN (2005)	1,5 b	9,2 b	9,3 b

Se debe considerar que el área de estudio está situada en una zona con influencia costera, constituida por rodales ralos y semidensos con una amplia distribución diamétrica y escasamente intervenidos. En cambio el área evaluada por Durán (2005) en la Provincia de Melipilla corresponde a una zona de secano interior, en donde los rodales con una mayor densidad se caracterizan por presentar un alto porcentaje de individuos con diámetros menores y una menor amplitud diamétrica, que han sido intervenido

constantemente durante las últimas décadas. Estas diferencias se ven reflejadas en los valores de biomasa estimados. Montecinos (2001) y Durán (2005), al comparar modelos de estimación de biomasa distintos para una misma área de estudio, indican que las diferencias en los valores estimados se deben a una influencia de las características intrínsecas de cada área y diferentes estructuras.

La producción de biomasa foliar estimada varió de 0,07 a 10,53 kg por vástago. Durán (2005), estimó un menor rango de biomasa foliar a nivel de vástagos que fue de 0,05 a 2,0 kg. Esta diferencia pone de manifiesto las diferentes estructuras de los rodales evaluados. Estudios anteriores de biomasa de boldo realizados en diferentes regiones, en general presentan variaciones en los rangos de biomasa foliar estimada a nivel de individuos. Gajardo y Verdugo (1979) estimaron en la V Región una producción de hojas de boldo entre 0,3 y 9,0 kg por individuo. Kannegiesser (1987) estimó en bosques de boldo de la VII Región una biomasa foliar que varió entre 0,095 y 27,8 kg por individuo. La estimación realizada por Montecinos (2001), en la VI Región fue de 0,88 a 10,59 kg por individuo.

La producción de hojas estimada para el bosque ralo y semidenso fue de 0,8 y 1,9 t/ha respectivamente. El bosque semidenso presentó una mayor producción de hojas por hectárea, que las áreas evaluadas por Durán (2005) y Montecinos (2001) quienes estimaron una producción de hojas de 1,21 y 1,19 t/ha respectivamente para bosques semidensos. Una mayor producción de biomasa foliar muestra las condiciones favorables que presenta el área evaluada en términos de densidad y estructura. Kannegiesser (1987) señala que los ejemplares de boldo que alcanzan las máximas tasas de crecimiento, crecen en forma aislada y prácticamente sin competencia. Así es como una menor densidad de individuos mejora el espaciamiento y disminuye la competencia.

Con respecto a la participación de los componentes en la biomasa aérea de boldo estimada, las hojas constituyen el 13%, la corteza un 0,2% y el fuste un 86,8%. Kannegiesser (1987), señala que el principal componente de la biomasa es el fuste con un 51,6% del peso seco total, luego las ramas con 34,8%, las hojas con 9,5% y la corteza 4,1%. Aguirre e Infante (1988), determinaron que la biomasa aérea de boldo se distribuye principalmente en la parte leñosa del árbol (84%) y un 16% del peso seco corresponde a las hojas. Durán (2005), indicó que el fuste representa alrededor del 75% de la biomasa total considerando ramas, corteza y fuste, mientras que las hojas aportaban el 25%. En

general, la relación entre la biomasa de hojas y fuste se mantiene en los diferentes estudios.

Para el área de estudio, se estimó una producción de biomasa aérea total de boldo de 3.845 toneladas para una superficie de 311 ha, de las cuales 493 toneladas corresponden a la biomasa de hojas. Aproximadamente el 71% de esta producción es aportada por el bosque semidenso, constituyendo la mayor superficie productiva dentro del área en estudio (Cuadro 9).

Cuadro 9: Producción de biomasa aérea estimada por componentes y total para la superficie de boldos del área en estudio.

TIPO DE BOSQUE	SUPERFICIE (hectáreas)	BIOMASA HOJA (toneladas)	BIOMASA CORTEZA (toneladas)	BIOMASA FUSTE (toneladas)	BIOMASA TOTAL (toneladas)
RALO	89,1	71,3	0,6	472,2	561,3
SEMIDENSO	221,9	421,6	4,9	2.795,9	3.284,1
TOTAL	311,0	492,9	5,5	3.268,1	3.845,4

Es importante señalar que la producción de biomasa aérea estimada, representa el potencial productivo del área en estudio. Al incorporar las restricciones legales y técnicas, la superficie de bosque realmente productiva disminuye. Es así como González y Aguirre (2006), establecen para el área en estudio una superficie productiva utilizable de 135 ha, distribuidas en su totalidad en el bosque semidenso. Por lo tanto, el potencial productivo disminuye aproximadamente en un 48% llegando a 2.000 toneladas de biomasa aérea total aprovechable, de las cuales 257 toneladas corresponden a biomasa de hojas y 1.700 toneladas corresponden a biomasa fustal.

4.3 Rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina en hojas de boldo secadas a diferentes temperaturas

4.3.1 Rendimientos de aceite esencial y ascaridol en hojas de boldo

Los rendimientos de aceite esencial en hojas de boldo secadas a temperatura ambiente variaron entre 2,1 y 2,5 %. Por su parte, los rendimientos de aceite esencial de las hojas de boldo secadas a 30 y 65° C variaron de 2,7 a 2,8% y de 2,4 a 3,4% respectivamente. Estos rendimientos no presentaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de secado.

El porcentaje de ascaridol del aceite esencial extraído de hojas secadas a 30° C, varió entre 76,7 y 79,3%, presentando diferencias significativas con respecto al porcentaje de ascaridol del aceite esencial de hojas secadas a temperatura ambiente y a 65° C, los que variaron de 59,8 a 67,8% y de 54,7 a 70,7% respectivamente (apéndice 2).

Cuadro 10: Rendimientos de aceite esencial y ascaridol en hojas de boldo para los diferentes tratamientos de secado

TRATAMIENTO	ACEITE ESENCIAL (%)		ASCARIDOL (%)	
	Mínimo y máximo	Promedio	Mínimo y máximo	Promedio
SECADO T° AMBIENTE	2,1 – 2,5	2,26 a	59,8 – 67,8	64,22 a
SECADO 30°C	2,7 – 2,8	2,74 a	76,7 – 79,3	77,93 b
SECADO 65°C	2,2 – 3,4	2,86 a	54,7 – 70,7	64,96 a

Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas. Los porcentajes de aceite esencial corresponden a ml/ 100 g de materia seca y los porcentajes de ascaridol corresponden a g/ 100 g de aceite esencial.

En general, los rendimientos de aceite esencial obtenidos de las hojas de boldo superan los rendimientos reportados por la literatura. Montes *et al.* (1980), en su estudio del rendimiento y variación estacional del aceite esencial de hojas de boldo, mencionan rendimientos entre 1,76 y 2,65%, que corresponden a rendimientos promedio estacionales de hojas colectadas en tres localidades diferentes (Fundo Alaska, Purén y Desembocadura del Bío-Bío). El menor rendimiento de aceite esencial se obtuvo de hojas

procedentes del Fundo Alaska (IX Región), mientras que el máximo rendimiento, se obtuvo de hojas procedentes de la Desembocadura del Bío-Bío.

Vogel *et al.* (1997), en su estudio del contenido de aceite esencial y alcaloides en diferentes poblaciones de boldo, mencionan rendimientos de aceite esencial entre 1,21 y 2,22%, correspondientes a valores promedios por población. El menor rendimiento se obtuvo de hojas colectadas en la población del norte (Cuesta La dormida), mientras que el máximo rendimiento se obtuvo en una población de la zona central (San Rafael).

Uauy (1998), utilizando el mismo método de destilación por arrastre de vapor usado en este estudio pero a nivel semi-industrial, extrajo aceite esencial de boldo en hojas colectadas en Melipilla y obtuvo rendimientos entre 1,37 y 2,25%.

Para poder comparar los rendimientos obtenidos y los mencionados en la literatura, es necesario que exista el mínimo de diferencias en las condiciones en que se obtuvieron. Por lo cual, se debe conocer cuáles son los principales factores que influyen en el contenido de principios activos en las hojas de boldo.

Vogel *et al.* (1997), indican que uno de los factores ambientales que altera los contenidos de principios activos en hojas de boldo, es la estación del año en que se cosechan las hojas. Con respecto al contenido de aceite esencial, mencionan que existe un mínimo significativo en el mes de diciembre, manteniéndose sin diferencias entre los meses de enero a noviembre.

La cosecha de las hojas para la extracción del aceite esencial del presente estudio se realizó en abril. Montes *et al.* (1980), mencionan rendimientos de aceite esencial de hojas cosechadas en abril de 1,43 y 2,18% para las poblaciones estudiadas. Vogel *et al.* (1997) en igual época de cosecha obtuvieron un rendimiento promedio de 1,8%, se debe destacar que el estudio de variación estacional sólo se realizó en las poblaciones de boldo del centro (VII Región), las cuales presentaron los mayores rendimientos de aceite esencial. Por su parte Uauy (1998), realizó la cosecha de hojas en noviembre, mes en el cual los rendimientos de aceite esencial no variarían significativamente de los rendimientos obtenidos de hojas cosechadas en abril. Al comparar los rendimientos de aceite esencial obtenidos de hojas cosechadas en la misma temporada, podemos observar que los rendimientos reportados en la literatura son inferiores independientemente de la procedencia de las hojas.

Con respecto a la preparación de la muestra y al método de extracción de aceite esencial, los diferentes estudios reportados realizaron la extracción de las hojas de boldo con destilación por arrastre de vapor y los rendimientos fueron comparados en base a materia seca.

Vogel (1996), citado por Letelier (2004), menciona que la concentración del aceite esencial se ve afectada por la edad de las hojas y la inserción de estas en el árbol. Este factor no es considerado, debido a que se cosecharon hojas representativas de toda la copa en cada vástago muestreado.

Considerando, que la época de cosecha no es determinante de los mayores rendimientos obtenidos, al igual que la preparación de la muestra y método de extracción utilizado, es probable que los mayores rendimientos obtenidos, se deban a variaciones naturales en el contenido de aceite esencial de los individuos presentes en el área de estudio, al sitio o a las condiciones ambientales existentes.

Al comparar el contenido de ascaridol del aceite esencial extraído, entre los diferentes tratamientos de secado, podemos observar que existe un aumento significativo cuando las hojas de boldo son secadas artificialmente a 30° C. Las diferencias observadas entre los tratamientos de secado de las hojas, nos permiten asociar a la temperatura como posible factor de variación en la composición del aceite esencial. Es así como Uauy (1998), indica que los aceites esenciales se alteran químicamente ante la acción de factores como el agua libre, la luz, el aire y el calor.

Los rendimientos de ascaridol obtenidos son claramente superiores a los reportados por la literatura (cuadro 11).

Cuadro 11: Porcentajes de ascaridol del aceite esencial de hojas de boldo mencionados en la literatura

AUTOR	Rendimiento de Ascaridol (%)
Vogel <i>et al.</i> (1997)	29,9 - 58,1
Miraldi <i>et al.</i> (1996)	21,3 - 38,6
Guerra (1998)	25,8 - 36,3

Los mayores porcentajes de ascaridol en el aceite esencial, obtenidos en el presente estudio (54,7 a 79,3%), se pueden atribuir a la distribución geográfica de la población de boldo, ya que se encuentra más al norte de la población estudiada en la Cuesta La Dormida por Vogel *et al* (1997) y Guerra (1998), donde obtuvieron rendimientos de ascaridol significativamente mayores a los obtenidos en las poblaciones del centro y sur.

La época de cosecha de las hojas utilizadas en el análisis no se consideró como factor de variación, tomando en cuenta que el porcentaje de ascaridol en el aceite esencial no presenta variaciones significativas durante el año (Vogel *et al*, 1997). Debido al uso de diferentes métodos de cromatografía y espectroscopía en los análisis de cuantificación del ascaridol entre los diferentes estudios, no es posible realizar mayores comparaciones de sus rendimientos.

4.3.2 Rendimientos de alcaloides y boldina en hojas de boldo

Los rendimientos de alcaloides en hojas secadas a temperatura ambiente variaron de 0,2 a 0,3% y no presentaron diferencias significativas con los rendimientos de alcaloides en hojas secadas a 30° y 65° C, los que variaron de 0,1 a 0,2% en ambos tratamientos.

El porcentaje de boldina en los alcaloides de hojas secadas a temperatura ambiente varió entre 7,3 y 19% mientras que los porcentajes de boldina en alcaloides de hojas secadas a 30 y 65°C variaron de 13,2 a 16,7% y de 10,8 a 23,8% respectivamente (apéndice 3).

Cuadro 12: Rendimientos de alcaloides y boldina en hojas tratamientos de secado

TRATAMIENTO	ALCALOIDES (%)		BOLDINA (%)	
	Máximo y mínimo	Promedio	Máximo y mínimo	Promedio
SECADO T° AMBIENTE	0,2 – 0,3	0,22 a	7,3 – 19,0	13,12 a
SECADO 30°C	0,1 – 0,2	0,15 a	13,2 – 16,7	15,39 a
SECADO 65°C	0,1 – 0,2	0,18 a	10,8 – 23,8	16,69 a

Diferentes letras en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas. Los porcentajes de alcaloides corresponden a g/ 100 g de materia seca y los porcentajes de boldina corresponden a g/ 100 g de alcaloides.

Los rendimientos de alcaloides obtenidos independientemente del tratamiento de secado, se encuentran entre los mínimos rendimientos presentados en la literatura. Vogel *et al.* (1997), mencionan rendimientos promedio de alcaloides entre 0,06 y 0,3 %, destacando que el máximo rendimiento de alcaloides fue obtenido en la población del norte (Cuesta La Dormida) (0,3 %). Guerra (1998), menciona rendimientos de alcaloides entre 0,28 y 0,32% obtenidos de plántulas de boldo procedentes de tres poblaciones estudiadas por Vogel *et al.* (1997). Por su parte, Montes y Wilkomirsky (1992), mencionan rendimientos de alcaloides entre 0,2 y 0,5 %.

Al igual que los aceites esenciales, el contenido de alcaloides varía con la época de cosecha de las hojas. Vogel *et al.* (1997), indican que los rendimientos de alcaloides obtenidos de hojas cosechadas en junio presentaron un máximo significativo con respecto a los otros meses del año. Considerando lo anterior, se comparó los rendimientos obtenidos con el rendimiento promedio de alcaloides para el mes de abril mencionado por Vogel *et al.* (1997), ellos obtuvieron un rendimiento de 0,08%, menor a los rendimientos obtenidos en el presente estudio, cabe destacar que las hojas utilizadas en el análisis corresponden a poblaciones de boldo ubicadas en la VII Región. Por su parte Guerra (1998) realizó el estudio en verano.

Es probable que las diferencias de los rendimientos de alcaloides obtenidos con los reportados en otros estudios se deban en parte a la época de cosecha de las hojas utilizadas.

Otro factor de variación puede ser el método de análisis utilizado para cuantificar los alcaloides en las hojas, en el presente estudio se utilizó cromatografía líquida (HPLC) a diferencia del método de espectrofotometría utilizado por Vogel *et al.* (1997) y Guerra (1998).

Los rendimientos de boldina obtenidos son menores a los mencionados por Montes y Wilkomirsky (1992), quienes mencionan rendimientos de boldina entre un 25 y 30 % de los alcaloides y superiores a los mencionados por Kannegiesser (1987), quien obtuvo rendimientos de boldina en hojas de boldo entre 0,02 -0,06%.

Kannegiesser (1987), menciona que el contenido de boldina en las hojas no varía con la época de cosecha, por lo que se podría descartar como posible factor de variación.

Al no existir mayores antecedentes del rendimiento de boldina en hojas de boldo, se hace difícil la comparación entre los rendimientos obtenidos y los reportados en la literatura. Las diferencias existentes se atribuyen a los diferentes métodos de análisis utilizados para la determinación y cuantificación de la boldina, de todos modos pueden ser otros los factores que influyen, tales como el sitio, condiciones ambientales o variaciones naturales en el contenido de boldina de los individuos presentes en el área de estudio

4.3.4 Rendimientos de aceite esencial, ascaridol, alcaloides totales y boldina de hojas por superficie

Cuadro 13: Rendimientos promedios de aceite esencial, ascaridol, alcaloides y boldina por tipo de bosque y superficie aprovechable.

TIPO DE BOSQUE	BIOMASA DE HOJAS (ton)	ACEITE ESENCIAL (litros)	ALCALOIDES TOTALES (kg)	BOLDINA (kg)
BOSQUE RALO	71,3	1.867	130,3	19,6
BOSQUE SEMIDENSO	421,6	11.039,7	770,3	116,1
AREA TOTAL	492,9	12.906,7	900,6	135,7
BOSQUE APROVECHABLE	257	6.729,6	469,6	70,8

Para establecer la cantidad de aceite esencial, alcaloides y boldinas disponible en el área de estudio, se utilizó la biomasa foliar estimada.

Las 492,9 toneladas de biomasa foliar estimada presentan un disponibilidad de aceite esencial de 12.907 litros con un alto contenido promedio de ascaridol (69 %). La disponibilidad de alcaloides se estimó en 901 kg de los cuales 135 kg corresponden a boldina (Cuadro 13).

Si tomamos en cuenta sólo la superficie aprovechable del área de estudio, la biomasa foliar estimada es de 257 toneladas, por lo tanto el rendimiento de aceite esencial realmente disponible disminuye a 6.730 litros y la disponibilidad de alcaloides disminuye a 470 kg de los cuales 71 kg corresponden a boldina.

5. CONCLUSIONES

- El modelo que mejor se ajustó a los pesos secos de los componentes, utilizando como variable predictora el DAP, fue el modelo potencial.
- La estimación de biomasa aérea total potencialmente aprovechable fue de 2.000 toneladas, de las cuales el 86,8 % corresponde a biomasa fustal, el 13% corresponde a biomasa foliar y el 0,2% a biomasa de corteza.
- Las hojas de boldo registraron rendimientos de aceite esencial entre 2,1 y 3,4%, con un contenido de ascaridol entre 54,7 y 79,3 % del aceite esencial; y un rendimiento promedio de alcaloides entre 0,1 y 0,3 %, con un contenido de boldina entre 7,3 y 23,8 % de los alcaloides totales.
- Los rendimientos de aceite esencial, alcaloides totales y boldina de hojas secadas a diferentes temperaturas no presentaron variaciones significativas.
- El contenido de ascaridol en el aceite esencial de hojas de boldo, varía significativamente con la temperatura de secado, presentando un máximo significativo en hojas secadas a 30° C.
- Considerando que los altos contenidos de ascaridol en el presente estudio, son mayores a los contenidos de ascaridol obtenidos por Vogel *et al.* (1997) y Guerra (1998) en las poblaciones de boldo ubicadas en el norte de su distribución geográfica. Es necesario realizar nuevos estudios que permitan obtener mayores antecedentes sobre el contenido de ascaridol en el aceite esencial de hojas de boldo, principalmente en poblaciones del norte de su distribución geográfica, para establecer cuáles son las poblaciones de boldo que cumplen con los contenidos máximos de ascaridol permitidos por las farmacopeas de los principales países consumidores de hojas de boldo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- BACKHOUSE, N. 2004. Apuntes de botánica y farmacognosia II: Drogas y tóxicos de origen biológico/ Apunte docente. [En línea] En:< <http://bibliotecadigital.cl>> [Consulta: 5/06/2006].
- 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.
- DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile 483 p.
- DURÁN, L. 2005. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en un bosque esclerófilo de la comunidad de Maria Pinto, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 51 p.
- FAO. 1996. Desarrollo de productos forestales no madereros en América Latina y El Caribe. Productos forestales no madereros. [En línea] En:< http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T2360S/t2360s0a.htm> [Consulta: 08/04/2006].
- 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 Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Apuntes N° 3. 3- 18 p.

- GAJARDO, M y VERDUGO, R. 1979. Rendimientos de hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.), corteza de quillay (*Quillaza saponaria* Mol.) y carbón de espinoso (*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.
- GONZALEZ, C Y AGUIRRE, A. 2006. Diagnóstico forestal de los bienes comunes de Pullally, con énfasis en las zonas dominadas por boldo. Proyecto FIA: Producción comercial de hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en los bienes comunes de Pullally. Diversificación de la base económica bajo un manejo sostenible. Santiago, Chile. 43 p.
- GUPTA, M. 1995. 270 Plantas medicinales Iberoamericanas. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Colombia. p. 403-404.
- GUERRA, M. 1998. Variación genética en el contenido de alcaloides y aceite esencial en boldo (*Peumus boldus* Mol.). Tesis de grado. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía. Talca, Chile. 35 p.
- HOMANN, C. 1968. Estudio sobre reproducción y anatomía de hojas y frutos en boldo. *Peumus boldus* Mol. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 96 p.
- JIMENEZ, G. 1990. Estudio de la acción antioxidante de la boldina y paracetamol sobre la oxidación de vesículas de fosfatidilcolina iniciada por termólisis del 2,2'-azobis-2-amidinopropano. Memoria para optar al título de Químico Farmacéutico. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 61 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.
- LETELIER, M. 2004. Estudio del efecto de biofertilizantes sobre producción de biomasa y principios activos de boldo (*Peumus boldus* Mol.). Tesis de grado. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía. Talca, Chile. 33 p.
- MCNAIR, H. 1981. Cromatografía de gases. O.E.A. Washington D.C. U.S.A. 90 p.

- MIRALDI, E; FRANCHI, G; GIORGI, G. 1996. *Peumus boldus* Essential oil: New constituents and comparison of oil from leaves of different origin. *Fitoterapia* 58(3): p. 227-20.
- MONTECINOS, V. 2001. Influencia del habito de crecimiento del boldo (*Peumus boldus* Mol.), sobre la producción de fitomasa foliar. Memoria para optar al titulo 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.
- MONTES, M Y WILKOMIRSKY, T. 1978 Plantas chilenas en medicina popular, Ciencia y Folklore. Ed. Universidad de Concepción. Chile. p. 31-39.
- MONTES, M; WILKOMIRSKY, T y VALENZUELA, L. 1980. Aceite esencial de hojas de boldo (*Peumus boldus* Mol.). Rendimiento y variación estacional. *An. Real Academia de Farmacia* 46(3): p. 325-334.
- MONTES, M Y WILKOMIRSKY, T. 1992. Plantas medicinales. Ed. Universidad de Concepción. p. 141.
- MUÑOZ, F. 2002. Plantas medicinales y aromáticas; Estudio, cultivo y procesado. Ediciones Mundiprensa. España. 365 p.
- NEWBOULD, P. 1967. Methods for estimating the primary production of forest. IBP. Hanbook N° 2. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 59 p.
- PEDRASA, M. 1989 Producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alessandrii* Espinoza (Ruil) en la zona de constitución. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 112 p.
- PRADO, J; INFANTE, P; ARRIAGADA, 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. 87 p.
- SANTIBAÑEZ, F y URIBE, J. 1990. Atlas agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 65 p.
- SPEISKY, H. 1991. Activity of boldine on rat ileum. *Planta Médica*, Vol. 57. Santiago, Chile. 519-522 p.
- UAUY, J. 1998. Extracción de aceite esencial de plantas nativas Chilenas. Memoria para optar al título e Ingeniero Civil Industrial. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 137 p.
- VAN GINKEL, A. 1999. Monografía Boldo (*Peumus boldus* Mol.). *Revista Fitomédica* N° 21. Santiago, Chile. 64-75 p.
- VITA, A.1989. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile. Documento de trabajo N° 21. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 241 p.
- VOGEL, H; RAZMILIC, I; DOLL, U. 1997. Contenido de aceite esencial y alcaloides en diferentes poblaciones de boldo (*Peumus boldus* Mol.). *Revista Ciencia e Investigación Agraria* 24(1). Santiago, Chile. 1-11 p.

APENDICE 1

Análisis de varianza para la biomasa foliar, fustal y total estimada para el bosque semidenso, entre los modelos seleccionados y los propuestos por Durán (2005).

Biomasa de hojas

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	1	1549,761	1549,761		
ERROR	1926	22126,518	385391,0	36,67	0,0000
TOTAL	1927	22547,787			

Biomasa de fuste

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	1	26086,452	26086,452		
ERROR	1926	68215,208	6487,034	14,79	0,0001
TOTAL	1927	60739,107			

Biomasa total

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	1	14440,505	14440,505		
ERROR	1926	207764,418	5370,706	36,39	0,0000
TOTAL	1927	211689,754			

APENDICE 2

Análisis de varianza para el rendimiento de aceite esencial y ascaridol, entre los tratamientos de secado a temperatura ambiente, 30° y 65° C

Aceite esencial

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	2	0,62	0,31		
ERROR	6	0,84	0,14	2,21	0,1904
TOTAL	8	1,46			

Ascaridol

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	2	348,482	174,241		
ERROR	6	197,367	32,8944	5,3	0,0473
TOTAL	8	545,849			

APENDICE 3

Análisis de varianza para el rendimiento de alcaloides totales y boldina, entre los tratamientos de secado a temperatura ambiente, 30° y 65° C

Alcaloides totales

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	2	0,00686667	0,00343333		
ERROR	6	0,0167333	0,00278889	1,23	0,3565
TOTAL	8	0,0236			

Boldina

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	P
TRATAMIENTO	2	19,94	9,97		
ERROR	6	162,46	27,0767	0,37	0,7036
TOTAL	8	182,4			