



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO**  
**AMBIENTE**

---

**ACUMULACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN *Colliguaja odorifera***  
**Mol., *Retanilla trinervia* (Gillies et Hook.) Hook. et Arn. y *Berberis***  
***actinacantha* Mart. EN LA RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL**  
**COBRE DE LONCHA**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniera Forestal

**JAVIERA DEL PILAR ORREGO MAGGIOLO**

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dr. Horacio Bown Intveen

SANTIAGO, CHILE

2014

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO**  
**AMBIENTE**

**ACUMULACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN *Colliguaja odorifera***  
**Mol., *Retanilla trinervia* (Gillies et Hook.) Hook. et Arn. y *Berberis***  
***actinacantha* Mart. EN LA RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL**  
**COBRE DE LONCHA**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniera Forestal

Javiera del Pilar Orrego Maggiolo

Calificaciones	Nota	Firma
Prof. Guía, Dr. Horacio Bown I.	7,0	.....
Prof. Consejero, Dr. Juan Caldentey P.	7,0	.....
Prof. Consejero, Patricio Corvalán V.	6,7	.....

*Dedicado a la Nonnina y el Tata,  
que desde el cielo guían mi camino  
Los quiero mucho.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesor guía Horacio Bown por la ayuda brindada y por sus consejos certeros en la realización de la memoria. A mis profesores consejeros Juan Caldentey y Patricio Corvalán, por sus aportes y tiempo otorgado.

A mi familia por su apoyo incondicional y por recordarme cada vez que los veía que tenía que entregar la memoria.

Un agradecimiento especial a mis amigos Christopher Lincoleo y Carla Barriga por su cooperación en terreno y a Manuel Aguilera ya que sin ustedes jamás habría logrado recolectar todas las muestras necesarias para esta memoria, siempre recordaré las anécdotas, los saludos a Lonchito todos los días y todos los problemas que enfrentamos en terreno.

Al laboratorio de producción animal y al aserradero de la Universidad de Chile por todo el apoyo entregado, para sacar adelante de manera más rápida y sencilla el procesamiento de mis muestras.

Finalmente quiero dar gracias a mis amigos y a todos aquellos que formaron parte en la construcción y desarrollo de mi crecimiento personal y profesional. Se cierra una etapa difícil de mucho crecimiento y aprendizaje. Gracias por acompañarme en todo momento.

La presente memoria se encuentra inserta dentro del proyecto FONDECYT N° 1090259, Disturbance mediated water and nutrient stresses regulate carbon assimilation and allocation in schlerophyll ecosystems in Central Chile: A process-based approach.

## RESUMEN

Se estudió la biomasa aérea de tres especies arbustivas: *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia* y *Berberis actinacantha* en un área colindante a la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha ubicada en la Comuna de Alhué en la Región Metropolitana.

La selección de los arbustos se realizó de forma dirigida. Se cortaron 15 individuos de cada especie, considerando a lo menos un arbusto para cada clase de tamaño observada. Se ajustaron funciones de biomasa mediante el método regresional, tomando en cuenta la biomasa total y la biomasa por componente de cada arbusto muestreado. Además se midió el crecimiento en la base de los vástagos antes seleccionados.

En la biomasa total por especie se concluyó que *C. odorifera* fue la especie que más biomasa concentró promediando entre los 15 individuos  $13,78 \pm 14,76$  kg/individuo. *R. trinervia* presenta  $7,18 \pm 5,78$  kg/individuo y *B. actinacantha* es la que menor biomasa concentra con  $2,87 \pm 2,56$  kg/individuo en promedio ( $\pm 1$  DS).

Con respecto a la obtención de biomasa por componente, *B. actinacantha* posee la mayor concentración en los vástagos vivos con el 83%, el 12% corresponde a follaje y los vástagos muertos solo acumulan el 5%, del total. En el caso de *C. odorifera* la mayor concentración se encuentra en los vástagos vivos con el 82%, el 13% corresponde a vástagos muertos y la menor concentración se observa en el follaje con el 5%. *R. trinervia* concentra el 75% en los vástagos vivos, el 19% en los vástagos muertos y solo el 6% en el follaje. En el caso de la biomasa total el mejor estimador fue la relación de diámetro de copa y la altura de cada arbusto obteniendo  $r^2$  entre 0,65 y 0,86 y  $P < 0,01$ .

Del análisis de los anillos de crecimiento de las especies estudiadas se concluye que se pueden identificar y cuantificar anillos de crecimiento en un alto porcentaje (sobre 40%) de las secciones transversales y que mediante estos se pueden inferir las tasas de crecimientos de estas especies. Los rangos de crecimiento en diámetro de las tres especies fluctúan entre los 0,87 y 4,29 mm, y en el caso de la altura los rangos varían entre los 0,15 y los 105,38 mm por año

**Palabras clave:** Biomasa, *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia*, *Berberis actinacantha* ecuaciones alométricas, Chile.

## ABSTRACT

The biomass was studied in three shrub species: *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia* and *Berberis actinacantha* in the National Reserve Roblería del Cobre de Loncha in Alhue in the Metropolitan Region.

Fifteen individuals of each species were cut considering at least one bush for each size class observed. The functions of biomass were adjusted using the regression method, for total biomass and component biomass using crown diameter and height as predicting variables. Growth in diameter at the base of the shoot was also measured.

Shrub biomass was greater in *C. odorifera* ( $13,78 \pm 14,76$  kg/shrub) compared to *R. trinervia* ( $7,18 \pm 5,78$  kg/shrub) and *B. actinacantha* ( $2,87 \pm 2,56$  kg/shrub)

*B. actinacantha* has the greater fraction of biomass in living stems with the 83% while 12% was foliage; dead stems accumulated 5% of the total. In the case of *C. odorifera* living stems accumulated 82%, while 13% are dead stems and the lowest fraction is observed in the foliage with the 5%. *R. trinervia* concentrates the 75% in living stems, the 19% in the dead stems and only 6% in the foliage. In the case of the total biomass, the best estimator was the relation between the crown diameter and the height of each shrub obtaining  $r^2$  between 0,65 and 0,86 and  $P < 0,01$ .

From the analysis of the growth rings of the studied species we can conclude that the growth rings can be identified and quantified in a high percentage (about 40%) of the cross sections and from these, growth rates of these species can be inferred. The ranges of the diameter growth of the three species are between 0,87 and 4,29 mm, and in the case of the height ranges are between 0,15 and 105,38 mm per year.

**Keywords:** Biomass, *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia*, *Berberis actinacantha* allometric equations, Chile.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes generales de las especies .....	1
1.1.1	Colliguay ( <i>Colliguaja odorifera</i> Mol.) .....	1
1.1.2	Tebo ( <i>Retanilla trinervia</i> (Gillies et Hook) Hook. et Arn.) .....	2
1.1.3	Michay ( <i>Berberis actinacantha</i> Mart.) .....	2
1.2	Antecedentes generales de biomasa.....	2
1.2.1	Definición.....	2
1.2.2	Métodos de estimación de biomasa .....	3
1.3	Ajuste regresional .....	4
1.4	Validación .....	4
1.5	Objetivos .....	6
1.5.1	Objetivo general .....	6
1.5.2	Objetivos específicos .....	6
2	MATERIAL Y MÉTODO .....	7
2.1	Material .....	7
2.2	Método .....	8
2.2.1	Selección de los arbustos que componen la muestra .....	8
2.2.2	Obtención de pesos secos.....	9
2.2.3	Construcción de modelos y estimación de la biomasa .....	9
2.2.4	Determinación del crecimiento de los arbustos.....	10
3	RESULTADOS .....	11
3.1	Funciones de biomasa aérea por componente y total .....	11
3.1.1	Parámetros de la muestra por especie .....	11
3.1.2	Ajuste de funciones por componente para vástagos de <i>C. odorifera</i> .....	11
3.1.1	Ajuste de funciones por componente para vástagos de <i>R. trinervia</i> .....	14
3.1.2	Ajuste de funciones por componente para vástagos de <i>B. actinacantha</i> ...	16
3.1.3	Ajuste de funciones de biomasa aérea total por especie .....	18
3.2	Validación de los resultados.....	20

3.3	Estimación de la biomasa aérea de <i>C. odorifera</i> , <i>R. trinervia</i> y <i>B. actinacantha</i> .....	21
3.4	Estimación del crecimiento en diámetro de los vástagos de las tres especies.....	22
4	DISCUSIÓN.....	25
5	CONCLUSIONES.....	27
6	BIBLIOGRAFÍA.....	28
	APÉNDICES .....	31
	Apéndice I. Modelos por componente de las tres especies estudiadas. ....	31
	Apéndice II. Parámetros estadísticos del modelo seleccionado, para cada componente y total, de los tres arbustos estudiados.....	34
	Apéndice III. Validación de los resultados mediante el método Bootstrap.....	36
	Apéndice IV. Detalle de la biomasa aérea por individuo para las tres especies seleccionadas.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de la ubicación del área de estudio.....7
- Figura 2.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *C. odorifera*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y follaje) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS=Biomasa (g), d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm). ..... 13
- Figura 3.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *R. trinervia*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y altura) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS=Biomasa (g), d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm). ..... 15
- Figura 4.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *B. actinacantha*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y altura) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS= Biomasa (g) d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm). ..... 17
- Figura 5.** Modelos alométricos de biomasa aérea total seleccionados para cada especie. a.- *Colliguaja odorifera* (diámetro de copa y altura) b.- *Colliguaja odorifera* (diámetro de copa) c.- *Retanilla trinervia* (diámetro de copa y altura) d.- *Retanilla trinervia* (diámetro de copa) e.- *Berberis actinacantha* (diámetro de copa y altura) f.- *Berberis actinacantha* (diámetro de copa). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS= Biomasa (kg), d=Diámetro de copa (m) y h=Altura (m). ..... 19
- Figura 6.** Gráficos de los coeficientes  $b_0$  y  $b_1$  de los modelos de biomasa total para cada especie. a.- Coeficiente  $b_0$  b.- Coeficiente  $b_1$ .  $b_0$  y  $b_1$ = valores obtenidos en los modelos ajustados  $b_0^*$  y  $b_1^*$ = valores obtenidos por el método Bootstrap..... 20

**Figura 7.** Promedio de la biomasa aérea total por componente de las tres especies analizadas; *C. odorifera*, *R. trinervia* y *B. actinacantha*. Sobre las barras se representa la desviación estándar de cada especie. .... 21

**Figura 8.** Modelos de Crecimiento Medio Anual y Crecimiento en el largo del vástago, para las tres especies analizadas. a.- Crecimiento Medio Anual b.- Crecimiento en el largo del vástago. Sobre cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son CMA=Crecimiento medio anual (mm/año), CLV = crecimiento en el largo del vástago (mm/año) D=diámetro (mm) y L=largo del vástago (mm). .... 24

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Rangos de alturas, diámetros de copa y número de vástagos por especie de arbusto.....	11
<b>Cuadro 2.</b> Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para <i>C. odorifera</i> , utilizando el diámetro basal y altura de cada vástago. ..	12
<b>Cuadro 3.</b> Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para <i>R. trinervia</i> , utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago. 14	
<b>Cuadro 4.</b> Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para <i>B. actinacantha</i> , utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.....	16
<b>Cuadro 5.</b> Selección de los mejores modelos de biomasa aérea total para cada especie, utilizando el diámetro de copa y la altura. ....	18
<b>Cuadro 6.</b> Validación de los resultados del valor de P y el coeficiente de determinación para los modelos de biomasa total de las tres especies en estudio ( $y = b_0 x^{b1}$ ).....	21
<b>Cuadro 7.</b> Rangos de variación y promedio del crecimiento anual medio, el crecimiento en largo del vástago y el número de anillos, por especie de arbusto analizada y total. En letras distintas, las diferencias significativas (Tukey, $P < 0,05$ ).....	23

# 1 INTRODUCCIÓN

Los arbustos contribuyen a mantener la integridad física de los ecosistemas, ya que pueden evitar o aminorar la erosión, además de contribuir a la formación de los suelos y bajo sus copas existen condiciones favorables para el reclutamiento de plantas de arbustos y herbáceas (Gutiérrez y Squeo, 2004). Por lo anterior, la descripción y la cuantificación de la vegetación arbustiva representan un paso fundamental para caracterizar el ecosistema y proponer pautas de manejo y conservación, obteniendo de ellos recursos tales como leña, forraje, postes, producción de químicos u otros; sin que se produzca un daño, muchas veces irreparable en la vegetación o en el suelo que los sustenta (Prado *et al*, 1988).

Es necesario, conocer la cantidad de biomasa de las especies arbóreas y arbustivas, para estimar la cantidad de carbono que captura un bosque, proceso que representa actualmente un servicio ambiental y, por tanto, constituye una alternativa para el manejo de recursos naturales (Schlegel, 2001). Además como lo plantea Pedrasa (1989), el conocer la biomasa permite determinar la distribución espacial de la materia orgánica en un sistema y catalogar en forma de inventario la cantidad de materia seca disponible en un momento y ambiente dado, entre otras aplicaciones.

Si bien existen diversas alternativas para el estudio de la biomasa en arbustos, como es la determinación mediante métodos destructivos, ésta resulta una tarea costosa en tiempo y dinero, mientras que su estimación, a través de modelos, permite obtener información cuantitativa y cualitativamente similar, a un menor costo.

En la zona central de Chile, es común encontrar arbustos colonizadores o pioneros, los cuales se ubican en sitios descubiertos o asociados a bosques que han sufrido algún nivel de intervención. Los arbustos anteceden al bosque esclerófilo en su dinámica ecológica y realizarían un aporte a la biomasa total de estos ecosistemas (Gutiérrez, 2001).

Diversos estudios (Prado *et al*, 1988; Gutiérrez y Squeo, 2004; Durán, 2005) se han realizado para caracterizar el crecimiento y acumulación de biomasa en bosques esclerófilos, centrándose en la componente arbórea y sólo en una menor intensidad en los arbustos, los cuales podrían representar una buena proporción de la biomasa total de los bosques, por su aporte en diversidad y estructura.

## 1.1 Antecedentes generales de las especies

### 1.1.1 Colliguay (*Colliguaja odorifera* Mol.)

Esta especie, que pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, es endémica de Chile y crece entre la Región de Antofagasta y la Región del Maule, y hasta los 1.200 m.s.n.m. Está adaptada a diferentes terrenos y es común en sitios muy pedregosos y áridos (Hoffmann, 1998).

Es un arbusto siempreverde que puede alcanzar una altura de hasta 2 m, posee tallos firmes con látex blanco en su interior. La corteza es de color café – pardo y se desprende con facilidad. Posee hojas opuestas, con borde aserrado y glanduloso, de forma oblonga a elíptica con el ápice agudo, mucronado o redondeado. Sus flores son unisexuales reunidas en inflorescencias terminales de color amarillo-rojizas. Las flores masculinas se ubican en la parte superior de la espiga con 8-12 estambres; las femeninas son más gruesas con estigma trifido. El fruto es una cápsula tricoca de unos 2 cm de diámetro que al estar maduro se abre en forma violenta lanzando las semillas a varios metros de distancia (Hoffmann, 1998).

### **1.1.2 Tebo (*Retanilla trinervia* (Gillies et Hook) Hook. et Arn.)**

Es un arbusto caduco, que habita en faldas de los cerros de la costa y de interior entre las provincias de Aconcagua y el Maule. Es extremadamente espinoso y glabro. Sus tallos verdes le permiten la asimilación de carbono cuando se encuentra sin hojas, alcanzando alturas de 1,5 a 3 m. Sus hojas son opuestas, ovaladas, con bordes dentados, de 1 a 2,5 cm de largo, trinervadas. Las flores son solitarias o en fascículos de 2 a 6 unidades, de 4 a 5 mm. Se produce la floración entre Septiembre y Diciembre y su fruto es una drupa ovoide de 5 mm de diámetro (Hoffmann, 1998).

### **1.1.3 Michay (*Berberis actinacantha* Mart.)**

Es un arbusto perenne con alturas que van de 1 a 5 m. Este género se caracteriza por su formación dimórfica, con largos tallos que forman la estructura de la planta y tallos cortos de 1 a 2 mm de longitud. Las hojas se encuentran en los tallos largos, que no tienen función de fotosíntesis y han evolucionado en espinas triples de 3 a 30 mm. Estas hojas son simples y pueden presentar bordes espinosos (Landrum, 2003).

Las flores pueden brotar simples o en racimo, son de color amarillo o naranja, de 3 a 6 mm de longitud. El fruto es una pequeña baya de 5 a 15 mm de largo, de forma esférica que al madurar toma un color azul oscuro o violeta. Estas bayas son comestibles, ricas en vitamina C y de sabor ácido, son difíciles de recolectar por sus tallos espinosos (Landrum, 2003).

## **1.2 Antecedentes generales de biomasa**

### **1.2.1 Definición**

Biomasa es la cantidad total de materia viva presente en un momento dado en un sistema biológico. Generalmente se expresa en unidades de peso seco por unidad de superficie, expresada en la forma de  $g/m^2$ ,  $kg/m^2$  o  $t/ha$  de materia seca (Newbould, 1967).

La acumulación de biomasa se considera como el aumento de materia orgánica en la comunidad, y es el resultado entre la diferencia de productividad primaria bruta y la respiración total de la comunidad (Whittaker, 1975).

La biomasa por lo general se clasifica de acuerdo a los componentes, siendo los más comunes el fuste, ramas, hojas, corteza y raíces. Esta puede estimarse directamente a través del peso seco de los componentes o indirectamente mediante la medición de volumen y densidad de ellos (Pardé, 1980).

Se debe tener en cuenta que la productividad neta medida en biomasa no considera las pérdidas ocasionadas por herbívoros, insectos, pudrición y otros, por lo cual subestima el material orgánico que se almacena en un periodo determinado (Evans, 1974).

La tendencia general de la acumulación de biomasa, al igual que la productividad, es que disminuya a lo largo de los gradientes descendientes de humedad y temperatura. Un bosque maduro puede presentar valores entre 20 a 60 kg/m<sup>2</sup> de materia seca, no existiendo diferencia entre bosques tropicales y templados (Whittaker, 1975).

### **1.2.2 Métodos de estimación de biomasa**

Pardé (1980), describe parte de los métodos utilizados en los estudios de biomasa:

Método del árbol medio, se basa en la selección de un individuo que tenga dimensiones medias, representativas a nivel agregado de rodal, las que son interpretadas a través de parámetros, tales como el DAP, área basal y la altura media. A este ejemplar se le determina la biomasa, la que finalmente es proyectada a todo el rodal. La gran dificultad que nace de la utilización de este método es que los árboles promedios para una característica determinada, no necesariamente son promedio para otras (Madgwick, 1973; Pardé, 1980). Este método sirve más bien, para evaluar la biomasa dentro del árbol y para estimar su producción anual (Teller, 1988). La mayor aplicabilidad de este método es en plantaciones, debido a que los árboles poseen una relativa uniformidad de tamaños y edades (Applegate *et al.*, 1988).

Otro método ampliamente utilizado y recomendado es el alométrico o regresional, el cual consiste en voltear árboles pertenecientes a diferentes clases de DAP u otra variable de estado del árbol, para extraer submuestras y/o pesar directamente en terreno. Las submuestras son secadas y pesadas en laboratorio y se proyectan estos valores sobre los árboles volteados. Sobre la base de los árboles muestra se determinan funciones empíricas de biomasa, las que se aplican a cada uno de los árboles del rodal. La biomasa total por unidad de superficie se obtiene como la suma de la biomasa de los árboles individuales (Pardé, 1980; Teller, 1988).

Según Bown (1992), el muestreo regresional es un método que normalmente utiliza ecuaciones alométricas para predecir la biomasa total y de los componentes de los árboles. Generalmente estas funciones son del tipo doble logarítmicas que presentan, al DAP como la única variable predictoras y a la biomasa como variable dependiente, los cuales poseen gran flexibilidad.

Este método, es preciso en la estimación de la biomasa total del rodal, además es fácil de aplicar debido al uso de regresiones predictoras (Applegate *et al.*, 1988; Teller, 1988).

El punto más determinante en la construcción de las ecuaciones predictivas de los componentes de la biomasa, es la correcta determinación de la materia seca. Considerando aspectos técnicos y económicos, en la literatura se señala que la masa seca o anhidra de cada componente del árbol se estima usando razones o relaciones de masa seca / masa verde, obteniéndose estas mediante la extracción de submuestras.

Según Ker (1980) y Linderos (1986), en la variabilidad del muestreo influyen un gran número de factores, tales como el método de selección de árboles muestra, tamaño de la muestra, método de submuestreo usado para estimar masa seca de cada componente, exactitud y precisión de los instrumentos de terreno y laboratorio, preparación y experiencia del personal y la naturaleza de los modelos estadísticos usados.

### 1.3 Ajuste regresional

Este método utiliza ecuaciones alométricas para predecir la biomasa total y de cada componente de los arbustos. Un modelo alométrico relaciona la biomasa con variables del arbusto, fácilmente medibles en pie, tales como el diámetro de copa y la altura total, la altura de inserción de la primera rama, ya sea en combinación simple o múltiple de estos atributos (Vallejo *et al*, 2008).

En arbustos la relación alométrica se calcula a través de una transformación logarítmica de la ecuación de alometría ( $Y=ax^b$ ) en una función lineal ( $\ln Y= a + b \ln X$ ). Este método introduce desviaciones de los resultados, obteniéndose una subestimación del valor de la biomasa calculada (Baskerville, 1972).

Teóricamente esta desviación se produce al utilizar las sucesivas transformaciones log-antilog de los datos. Algunos trabajos comentan que esta diferencia es muy escasa y poco significativa (Pastor y Bockheim, 1981). Además muchos estudios sobre biomasa no consideran la corrección del sesgo como es el caso de Whittaker y Marks (1975) los que plantean que realizar correcciones no mejora mucho las estimaciones de la biomasa del bosque y de la productividad.

A pesar de ello, se han propuesto factores de corrección a fin de minimizar las diferencias detectadas (Baskerville, 1972). Por otra parte, Sprugel (1983) argumenta que si existen errores involucrados en las estimaciones de estos modelos, del orden del 10% o menos.

Orrego y del Valle (2001) proponen corregir el sesgo agregando la semisuma del error cuadrático medio ( $S_x^2/2$ ) a la ecuación:

$$\ln Y= \ln a + b \ln X + S_x^2/2$$

### 1.4 Validación

La metodología bootstrap es una línea más desarrollada de una variedad de técnicas para la inferencia estadística denominadas “métodos de remuestreo” (Simon, 1969). Son básicamente técnicas de simulación que reutilizan los datos observados para constituir un universo del cual extraer repetidas muestras.

La idea del bootstrap es validar las ecuaciones utilizadas dentro del trabajo. Los datos muestrales se tratan como si constituyeran los datos de toda la población, son el universo del que se extraerán muestras con reemplazo. En cada remuestreo se calculará el valor del estimador bootstrap que se utilizará para estimar la variabilidad de la muestra. Por lo tanto este enfoque proporciona una buena aproximación de la distribución de los estimadores (Diaconis y Efron, 1983) lo cual permitiría describir algunas de sus propiedades muestrales así como el cálculo de intervalos de confianza y la realización de contrastes de hipótesis.

El enfoque bootstrap está indicado en los casos que los datos obtenidos no sigan una distribución normal, como típicamente es el caso de la biomasa, hecho que es común en la mayoría de los estudios (Diaconis y Efron, 1983). El procedimiento bootstrap es útil para la descripción de la distribución muestral de aquellos estimadores con propiedades muestrales desconocidas o difícilmente obtenibles por medios analíticos.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo general

Estimar la biomasa aérea en tres especies arbustivas de los bosques y matorrales esclerófilos, ubicados en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Alhué, Chile. Estas especies son: *C. odorifera*, *R. trinervia* y *B. actinacantha*.

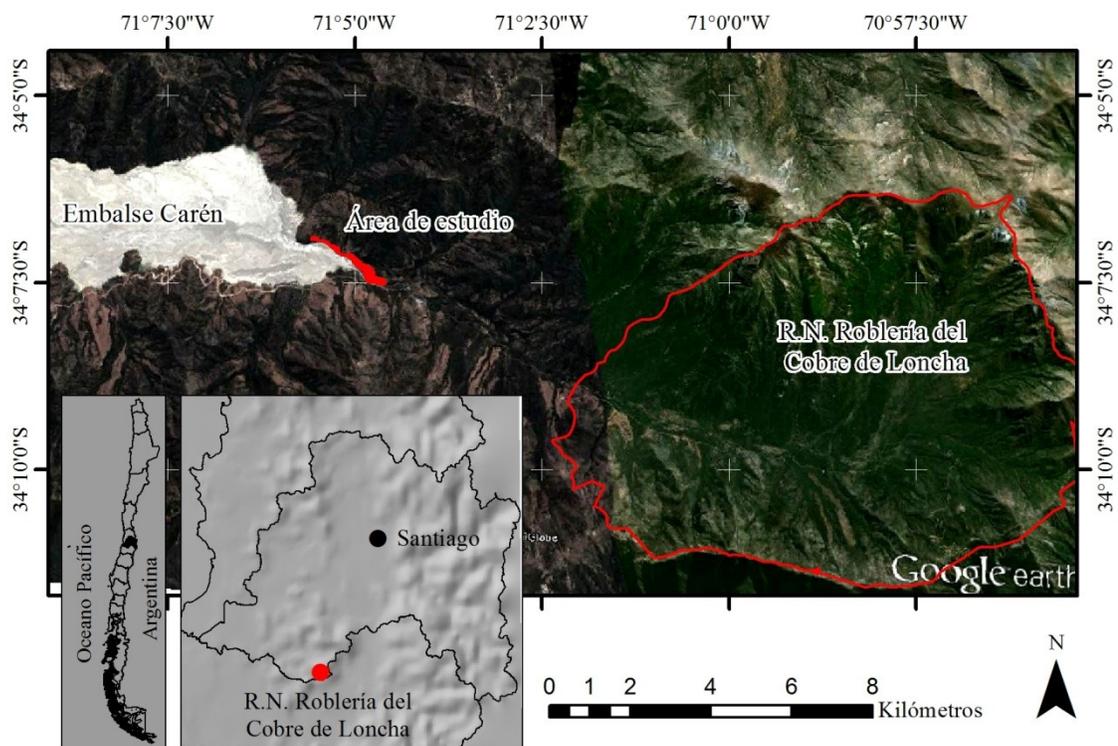
### 1.5.2 Objetivos específicos

- Estimar la biomasa aérea de *C. odorifera*, *R. trinervia* y *B. actinacantha*.
- Ajustar funciones de biomasa por componente y total para estas especies, que consideren variables de fácil medición (e.g. diámetro de copa, altura total, diámetro de vástagos individuales, etc.).
- Estimar el crecimiento en diámetro de los vástagos de estas tres especies.

## 2 MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Material

El estudio se realizó en un área colindante a la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, ubicada en la Comuna de Alhué, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana ( $71^{\circ} 5' O$ ;  $34^{\circ} 7' S$ ) (Figura 1). Posee una superficie de 5.870 hectáreas, y es considerada de importancia ambiental por contener especies de flora y fauna que se encuentran en la categoría de vulnerables, y especies vegetales con características de endémico como: Peumo (*Cryptocarya alba*), Boldo (*Peumus boldus*), Quillay (*Quillaja saponaria*), Hualo (*Nothofagus glauca*), Palma Chilena (*Jubaea chilensis*), Belloto del Sur (*Beilschmedia berteroana*) y Roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*) (CONAF, 2009).



**Figura 1.** Mapa de la ubicación del área de estudio.

La Reserva limita por el norte, con el cordón de cerros que separa la Hacienda Loncha de la hoya hidrográfica de Estero Alhué, por el sur con el cordón de cerros que define la división entre la comuna de Alhué y las comunas de Doñihue y Coltauco, por el oriente con el cordón de cerros que define la división entre las comunas de Alhué y Rancagua y por el poniente con el cerro Los Potrerillos (Avilez, 2002).

En 1996 la Reserva Loncha, fue traspasada mediante un comodato a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) por la División El Teniente de CODELCO, la cual se encuentra bajo la tuición y administración de CONAF de la Región del Libertador

General Bernardo O'Higgins a pesar que la Reserva se encuentra en la Región Metropolitana (CODELCO Chile, 2006).

La Reserva se encuentra en los cordones cordilleranos transversales del valle central de Chile, correspondiendo a un área de topografía montañosa costera, abrupta, disectada por valles encajonados de fuertes pendientes. La reserva se enmarca en el área conocida como los Altos de Cantillana (CONAF, 2009).

El clima del sector corresponde a templado-cálido perteneciente a la zona sur de la Región Metropolitana (CONAF, 2000). La principal característica de este clima es la marcada estacionalidad que presenta en cuanto al régimen térmico y de precipitaciones. La estación seca estival del sector de Loncha dura aproximadamente 7 meses (Octubre a Abril). La pluviometría media es de 509 mm anuales, con una gran variación año a año. Las temperaturas medias mensuales del aire varían entre 29°C en el mes más cálido y 3°C en el mes más frío (CODECIAGRO y U. de Chile, 1981).

La Reserva se inserta en dos de las ocho regiones vegetacionales descritas para el país: Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo y Región del Bosque Caducifolio (CONAF, 2009).

## **2.2 Método**

Dentro de la reserva no es posible cortar los arbustos, por lo cual éstos se cosecharon dentro de una zona colindante perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO). El área específicamente donde se trabajó es en el sector La Puntilla (Figura 1), los cuales cuentan con plan de manejo aprobado; estos rodales fueron inundados en la quinta etapa de levantamiento del embalse Carén.

Para estimar la biomasa de los arbustos, se efectuó un muestreo destructivo de los ejemplares, para luego ajustar los mejores modelos que representan la biomasa de las especies. Se realizaron las siguientes etapas.

### **2.2.1 Selección de los arbustos que componen la muestra**

La selección de los arbustos se realizó de forma dirigida. Se cortaron 15 individuos de *C. odorifera*, 15 de *B. actinacantha* y 15 de *R. trinervia*, considerando a lo menos un arbusto para cada clase de tamaño observada, midiendo en cada individuo el diámetro de copa (m) en dirección NS y EO y su altura total (m).

El muestreo destructivo consistió en el volteo de arbustos mediante un corte a ras de suelo, y a continuación sobre una lona plástica se separaron y se enumeraron cada uno de sus vástagos, midiendo el diámetro basal (mm), diámetro a la altura de inserción de la primera rama (mm), altura (cm) y altura de inserción de la primera rama (cm), para seleccionar, considerando todas las clases de tamaño presente, 5 vástagos vivos y 5 vástagos muertos por individuo.

### 2.2.2 Obtención de pesos secos

En laboratorio, se procedió a separar cada vástago en sus componentes; hojas, ramas y frutos según corresponda, guardándolos en bolsas de papel, para a continuación someter cada muestra a un proceso de secado en un horno de aire forzado a una temperatura de 70° C, hasta la obtención de pesos constantes, determinando así el peso seco de las muestras por componente.

### 2.2.3 Construcción de modelos y estimación de la biomasa

Mediante el uso del programa computacional R (R Core Team, 2012) y utilizando técnicas de análisis regresional, se ajustaron ecuaciones de biomasa aérea para los arbustos completos o para parte de ellos, a partir de variables dendrométricas de fácil medición.

La estimación de la biomasa de los arbustos, se llevó a cabo, en primer lugar por componentes, vástagos vivos, vástagos muertos y follaje. Para cada componente se ajustó un modelo alométrico por mínimos cuadrados, probando como variables independientes el diámetro basal de cada vástago, largo del vástago, la altura de inserción del vástago y la relación diámetro basal de cada vástago con la altura total de cada uno de los vástagos. La ecuación ajustada es la siguiente:

$$y = ax^b + S_x^2/2 \quad (1)$$

$$y = ax^b z^c + S_x^2/2 \quad (2)$$

Donde  $y$  corresponde a la biomasa por componentes (vástagos vivos, vástagos muertos y follaje), y  $x$ , corresponde a las variables de fácil medición: diámetro basal, largo, altura de inserción y la relación diámetro basal de cada vástago con la altura total de cada uno de los vástagos. Este procedimiento se repitió para cada una de las especies en estudio.

La selección del modelo a utilizar se realizó en base al coeficiente de determinación y el error cuadrático medio ( $S_x^2$ ), para así obtener cuatro ecuaciones para cada especie, una de vástagos vivos, otra de vástagos muertos, una de follaje y una de biomasa total. A continuación se especifica la fórmula del error cuadrático medio ( $S_x^2$ ).

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}$$

Donde  $p$  es el número de parámetros del modelo.

Para evitar la subestimación de los modelos seleccionados, estos fueron corregidos agregando la semisuma del error cuadrático medio ( $S_x^2/2$ ).

Una vez seleccionado el modelo, se obtuvo la biomasa de los componentes para cada uno de los vástagos medidos, lo cual al integrarse permitió estimar la biomasa total por arbusto, de cada especie.

Determinando la biomasa total de cada arbusto se ajustó un modelo por especie, probando como predictor el diámetro de copa, la altura total y la relación diámetro de copa y altura total, seleccionando el mejor modelo según su coeficiente de correlación y el error cuadrático medio.

Todos los modelos seleccionados tanto por componente como para la biomasa total fueron validados utilizando el método Bootstrap, determinando intervalos de confianza para los estimadores a, b y c de las ecuaciones (1) y (2), para el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y para el valor de  $P$ .

#### **2.2.4 Determinación del crecimiento de los arbustos**

El crecimiento de los arbustos se determinó midiendo el incremento en diámetro de los anillos de crecimiento. Se cortó una rodela de la base de cada vástago, se lijó la superficie para poder contar y medir en forma clara sus anillos de crecimiento. En cada rodela se obtuvo el radio promedio y se procedió a contar los anillos enumerándolos desde el cambium hacia la medula, además de esto se midió su diámetro con y sin corteza.

Las rodelas que no pudieron ser medidas a simple vista por su reducido diámetro, fueron fotografiadas con una cámara digital de alta resolución (12 Megapíxeles) o bien se midieron con un microscopio digital (BW 1008-500X). Las imágenes fueron procesadas utilizando el programa Image-J (Rasband, 2013), en el cual se realizó el conteo de los anillos.

Posteriormente, el diámetro basal del vástago y la altura de cada vástago fueron relacionados con la edad inferida (anillos contados por vástago) para determinar el crecimiento medio anual y el crecimiento del largo del vástago respectivamente.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Funciones de biomasa aérea por componente y total

##### 3.1.1 Parámetros de la muestra por especie

Se seleccionaron 15 arbustos de cada especie, considerando todas las clases de tamaño observadas (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Rangos de alturas, diámetros de copa y número de vástagos por especie de arbusto.

Especie	Alturas (m)	Diámetros de copa (m)	Nº de Vástagos por arbusto
<i>Colliguaja odorifera</i>	1,45 - 3,70	2,14 - 7,54	3 - 246
<i>Retanilla trinervia</i>	1,74 - 4,70	2,48 - 6,87	1 - 20
<i>Berberis actinacantha</i>	0,76 - 2,12	1,41 - 5,96	4 - 225

*C. odorifera* alcanzó una altura máxima de 3,70 m, siendo una especie muy frondosa y con el mayor número de vástagos por individuo, alcanzando un máximo de 246 vástagos. Sus diámetros de copa fluctúan entre los 2,14 m y los 7,54 m.

La especie de mayor tamaño estudiada fue *R. trinervia* alcanzando una altura máxima de 4,7 m, presentando el menor número de vástagos por cepa con un máximo de solo 20 vástagos. Sus diámetros de copa varían entre los 2,48 m y los 6,87 m.

De las tres especies en estudio *B. actinacantha* fue la especie de menor altura, alcanzando 2,12 m como máximo, entre los 15 individuos seleccionados. Con respecto al diámetro de copa también presenta los valores más bajos entre 1,41 y 5,96 m de largo.

A continuación se presentan las ecuaciones de biomasa de vástagos por componente para cada especie (3.1.2, 3.1.3, 3.1.4) para posteriormente integrar la biomasa a nivel de individuos de cada especie en la sección 3.1.5.

##### 3.1.2 Ajuste de funciones por componente para vástagos de *C. odorifera*

Las funciones por componente se resumen en el Apéndice 1. Las funciones con mejor ajuste corresponden a aquellas en las que se utilizó como variable predictora el diámetro basal de cada vástago o ambas el diámetro basal y altura de cada vástago (Cuadro 2), con los valores de coeficiente de determinación más altos y los menores errores. El resto de las variables probadas resultaron no significativas (altura y altura de inserción).

**Cuadro 2.** Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *C. odorifera*, utilizando el diámetro basal y altura de cada vástago.

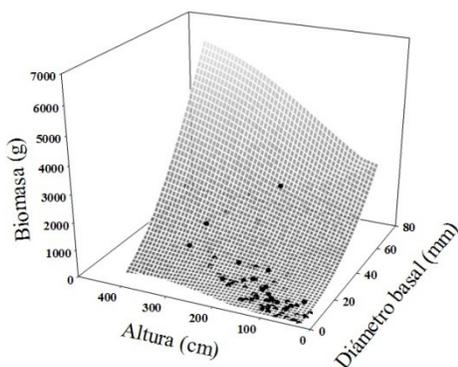
<i>Colliguaja odorifera</i>					
<b>Vástagos Vivos</b>	<b>Modelo</b>	$r^2$	$S_x^2$	$P$	
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0441 d <sup>1,9507</sup> h <sup>0,6225</sup>	0,92	0,27	< 0,01	
Diámetro basal	PS = 0,3336 d <sup>2,3592</sup>	0,90	0,35	< 0,01	
<b>Vástagos Muertos</b>					
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0423 d <sup>2,0916</sup> h <sup>0,4796</sup>	0,92	0,18	< 0,01	
Diámetro basal	PS = 0,2383 d <sup>2,3298</sup>	0,91	0,21	< 0,01	
<b>Follaje</b>					
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0040 d <sup>1,726</sup> h <sup>0,6876</sup>	0,75	0,93	< 0,01	
Diámetro basal	PS = 0,0376 d <sup>2,178</sup>	0,72	1,00	< 0,01	

d= Diámetro basal de cada vástago en milímetros h= Altura del vástago en centímetros  $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio

El mejor  $r^2$  fue obtenido para los vástagos vivos y vástagos muertos con  $r^2=0,92$  y  $P<0,01$ . El follaje fue el componente con el peor coeficiente de determinación con  $r^2= 0,75$  y  $P<0,01$  (Figura 2).

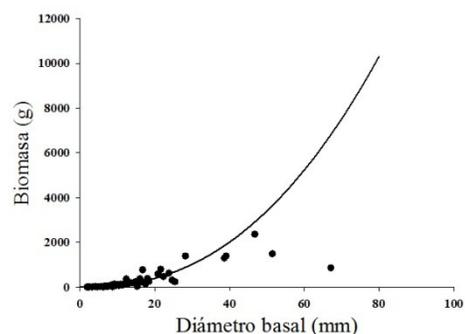
El modelo seleccionado en cada componente utiliza como variables predictoras a al diámetro basal y altura. Para evitar la subestimación por la función utilizada, el modelo se corrigió mediante la semisuma del error cuadrático medio ( $S_x^2/2$ ). En el Apéndice 2 se resumen los coeficientes y parámetros de las ecuaciones alométricas seleccionadas.

a.- Biomasa Vástagos Vivos (d, h)



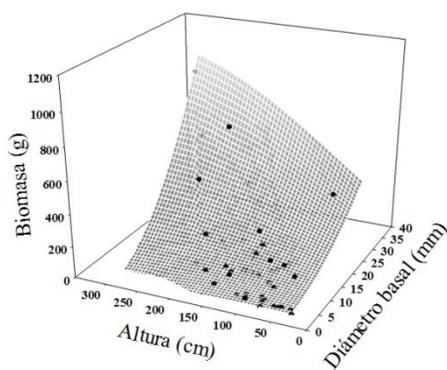
PS = 0,0441 d 1,950 h 0,622  $r^2 = 0,92$   $P < 0,01$

b.- Biomasa Vástagos Vivos (d)



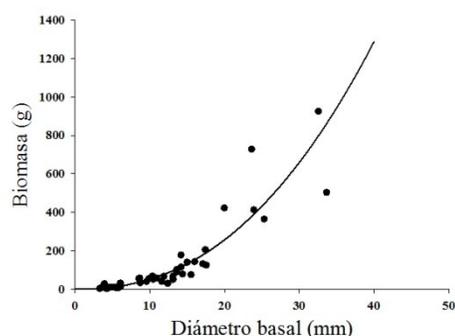
PS = 0,3336 d  $2,359$   $r^2 = 0,90$   $P < 0,01$

c.- Biomasa Vástagos Muertos (d, h)



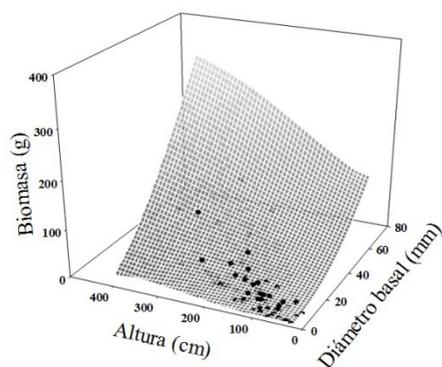
PS = 0,0423 d  $2,091$  h 0,479  $r^2 = 0,92$   $P < 0,01$

d.- Biomasa Vástagos Muertos (d)



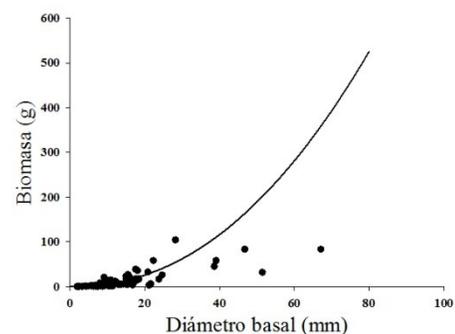
PS = 0,2383 d  $2,329$   $r^2 = 0,91$   $P < 0,01$

e.- Biomasa Follaje (d, h)



PS = 0,0040 d 1,726 h 0,6876  $r^2 = 0,75$   $P < 0,01$

f.- Biomasa Follaje (d)



PS = 0,0376 d  $2,178$   $r^2 = 0,72$   $P < 0,01$

**Figura 2.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *C. odorifera*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y follaje) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS=Biomasa (g), d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm).

### 3.1.1 Ajuste de funciones por componente para vástagos de *R. trinervia*

Las funciones por componente se encuentran en el Apéndice 1. Las funciones con mejor ajuste corresponden a aquellas en las que se utilizó como variable predictora el diámetro basal de cada vástago o ambas el diámetro basal y altura de cada vástago (Cuadro 3), con los valores de coeficiente de determinación más altos y los menores errores. El resto de las variables probadas resultaron no significativas (altura y altura de inserción).

**Cuadro 3.** Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *R. trinervia*, utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.

<i>Retanilla trinervia</i>				
<b>Vástagos Vivos</b>	<b>Modelo</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>S_x^2</math></b>	<b>P</b>
Diámetro basal y Altura	PS = 1,8065 d <sup>2,0465</sup> h <sup>-0,1234</sup>	0,73	0,68	< 0,01
Diámetro basal	PS = 0,9954 d <sup>2,0493</sup>	0,71	0,70	< 0,01
<b>Vástagos Muertos</b>				
Diámetro basal y Altura	PS = 1,5258 d <sup>1,8261</sup> h <sup>0,0188</sup>	0,61	0,96	< 0,01
Diámetro basal	PS = 1,5896 d <sup>1,8369</sup>	0,61	0,93	< 0,01
<b>Follaje</b>				
Diámetro basal y Altura	PS = 24,739 d <sup>0,5778</sup> h <sup>-0,0564</sup>	0,09	1,74	0,13
Diámetro basal	PS = 18,474 d <sup>0,5798</sup>	0,05	1,71	0,05

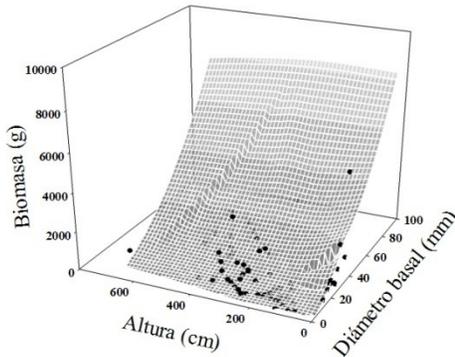
d= Diámetro basal de cada vástago en milímetros h= Altura del vástago en centímetros  $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio

Las variables independientes que mejor ajustan la biomasa por componentes son el diámetro basal y la altura en el caso de los vástagos vivos y el follaje. El mejor coeficiente de determinación fue de 0,73 ( $P<0,01$ ) en el caso de los vástagos vivos y el peor fue de 0,05 ( $P<0,01$ ) en el caso del follaje, utilizando como variable independiente el diámetro (Figura 3).

Para los vástagos muertos se obtiene el mismo coeficiente de determinación, utilizando la variable diámetro o la combinación de variables, diámetro basal y altura. La diferencia entre modelos radica en el error cuadrático medio, obteniendo un menor valor para la ecuación que utiliza solo el diámetro como variable, por lo cual para vástagos muertos el modelo seleccionado es el que sólo utiliza el diámetro.

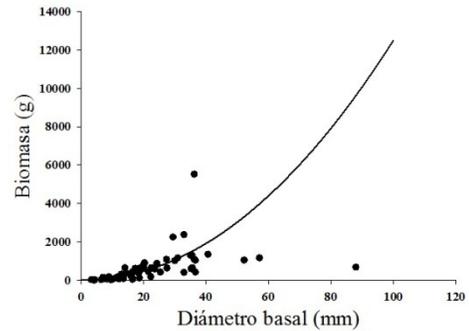
Los modelos seleccionados fueron corregidos utilizando la semisuma del error cuadrático medio, los parámetros y componentes se describen en el Apéndice 2.

a.- Biomasa Vástagos Vivos (d, h)



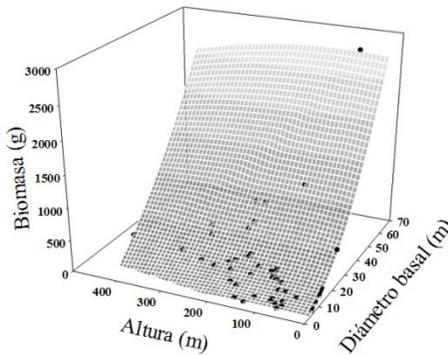
$$PS = 1,8065 d^{2,046} h^{-0,123} r^2 = 0,73 P < 0,01$$

b.- Biomasa Vástagos Vivos (d)



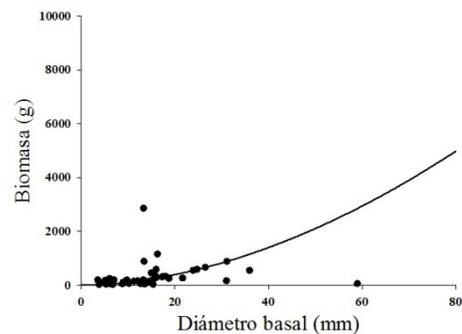
$$PS = 0,9954 d^{2,049} r^2 = 0,71 P < 0,01$$

c.- Biomasa Vástagos Muertos (d, h)



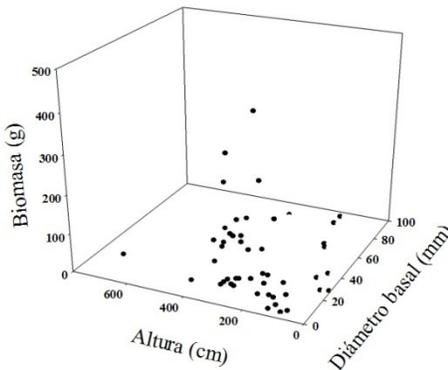
$$PS = 1,5258 d^{1,826} h^{0,018} r^2 = 0,61 P < 0,01$$

d.- Biomasa Vástagos Muertos (d)



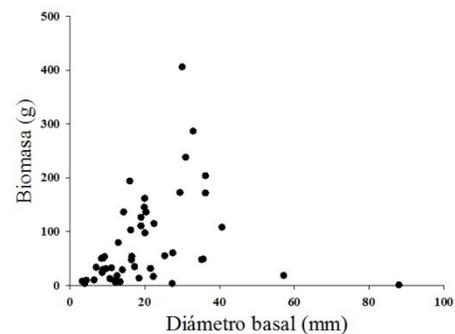
$$PS = 1,5896 d^{1,836} r^2 = 0,61 P < 0,01$$

e.- Biomasa Follaje (d, h)



$$PS = 24,739 d^{0,577} h^{-0,056} r^2 = 0,09 P = 0,13$$

f.- Biomasa Follaje (d)



$$PS = 18,474 d^{0,579} r^2 = 0,05 P = 0,05$$

**Figura 3.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *R. trinervia*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y altura) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS=Biomasa (g), d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm).

### 3.1.2 Ajuste de funciones por componente para vástagos de *B. actinacantha*

Las funciones por componente para *B. actinacantha* se resumen en el Apéndice 1. Las funciones con mejor ajuste corresponden a aquellas en las que se utilizó como variable predictora el diámetro basal de cada vástago o ambas el diámetro basal y la altura de cada vástago (Cuadro 4), con los valores de coeficiente de determinación más altos y los menores errores. El resto de las variables probadas resultaron no significativas (altura y altura de inserción).

**Cuadro 4.** Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *B. actinacantha*, utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.

<i>Berberis actinacantha</i>				
Vástagos Vivos	Modelo	$r^2$	$S_x^2$	$P$
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0339 d <sup>1,8086</sup> h <sup>0,7121</sup>	0,92	0,25	< 0,01
Diámetro basal	PS = 0,3250 d <sup>2,1927</sup>	0,79	0,67	< 0,01
Vástagos Muertos				
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0478 d <sup>1,2436</sup> h <sup>0,9125</sup>	0,72	0,65	< 0,01
Diámetro basal	PS = 0,8722 d <sup>1,7430</sup>	0,63	0,84	< 0,01
Follaje				
Diámetro basal y Altura	PS = 0,0265 d <sup>1,5146</sup> h <sup>0,5176</sup>	0,57	1,31	< 0,01
Diámetro basal	PS = 0,1317 d <sup>1,7928</sup>	0,50	1,51	< 0,01

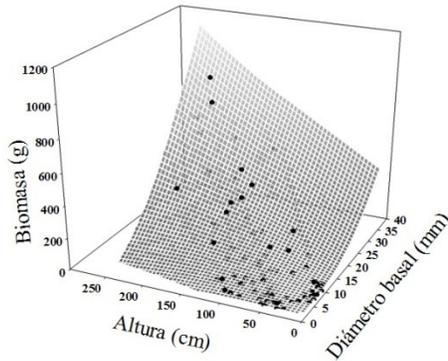
d= Diámetro basal de cada vástago en milímetros h= Altura del vástago en centímetros  $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio

El modelo que mejor se ajusta es el de los vástagos vivos ( $r^2=0,92$ ,  $P<0,01$ ). Por otra parte el follaje es el componente que presentó el peor ajuste ( $r^2=0,50$ ,  $P<0,01$ ) (Figura 4).

*B. actinacantha* fue la única especie que se encontró con frutos al momento de la recolección, los cuales representan el 9% de la biomasa total de follaje.

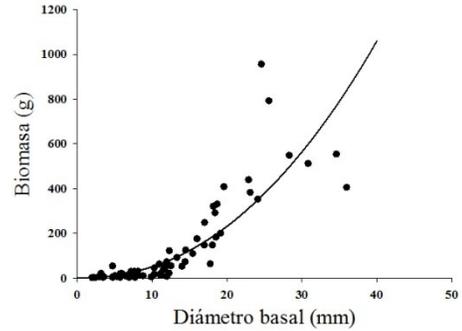
Los modelos seleccionados (Diámetro Basal y Altura), se corrigieron mediante la semisuma del error cuadrático medio como se describen en el Apéndice 2.

a.- Biomasa Vástagos Vivos (d, h)



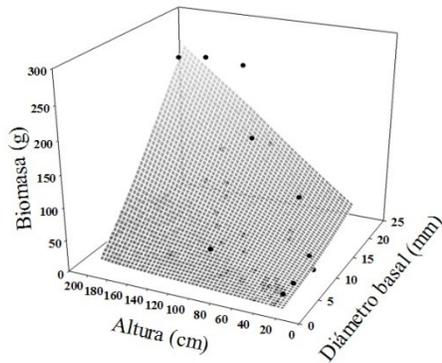
PS = 0,0339 d 1,808 h 0,712  $r^2 = 0,92$   $P < 0,01$

b.- Biomasa Vástagos Vivos (d)



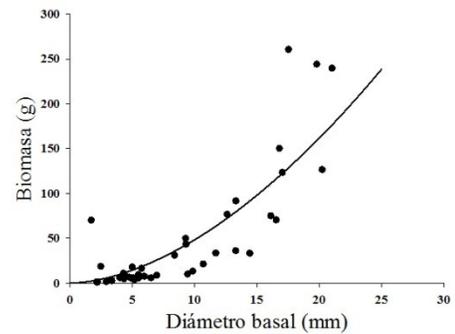
PS = 0,3250 d 2,192  $r^2 = 0,79$   $P < 0,01$

c.- Biomasa Vástagos Muertos (d, h)



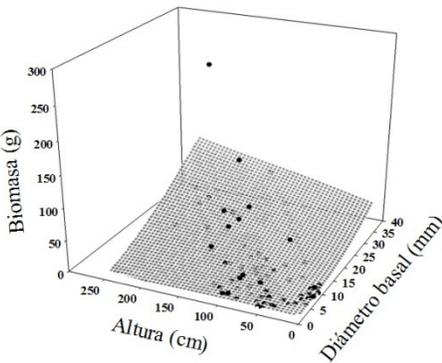
PS = 0,0478 d 1,243 h 0,912  $r^2 = 0,72$   $P < 0,01$

d.- Biomasa Vástagos Muertos (d)



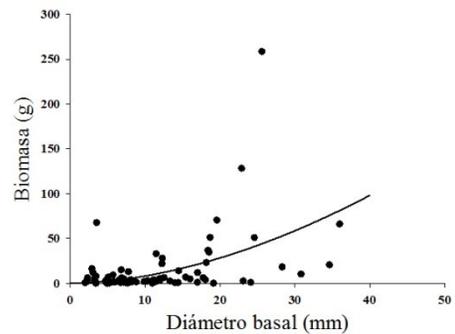
PS = 0,8722 d 1,743  $r^2 = 0,63$   $P < 0,01$

e.- Biomasa Follaje (d, h)



PS = 0,0265 d 1,514 h 0,517  $r^2 = 0,57$   $P < 0,01$

f.- Biomasa Follaje (d)



PS = 0,1317 d 1,792  $r^2 = 0,50$   $P < 0,01$

**Figura 4.** Modelos alométricos de biomasa aérea seleccionados para cada componente de *B. actinacantha*. a.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal y altura) b.- Biomasa de Vástagos Vivos (diámetro basal) c.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal y altura) d.- Biomasa de Vástagos Muertos (diámetro basal) e.- Biomasa de Follaje (diámetro basal y altura) f.- Biomasa de Follaje (diámetro basal). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS= Biomasa (g) d=Diámetro basal (mm) y h=Altura (cm).

### 3.1.3 Ajuste de funciones de biomasa aérea total por especie

Las funciones totales de biomasa aérea por especie se encuentran en el Cuadro 5. El mejor ajuste corresponde a aquellas funciones en las que se utilizó como variables predictoras el diámetro de copa o ambas el diámetro de copa y la altura total, con los valores de los coeficientes de determinación más altos y los menores errores. La variable altura total, resultó con coeficientes de determinación y errores, menores a los obtenidos con las otras dos variables.

**Cuadro 5.** Selección de los mejores modelos de biomasa aérea total para cada especie, utilizando el diámetro de copa y la altura.

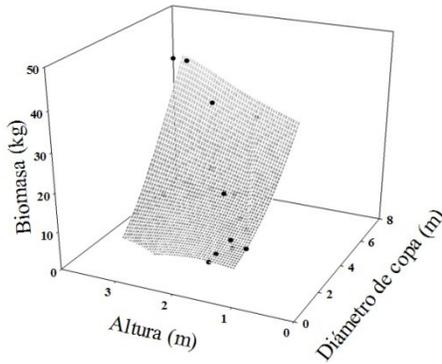
<i>C. odorifera</i>	Modelo	$r^2$	$S_x^2$	<i>P</i>
Diámetro de copa y altura	PS = 0,1932 d <sup>2,0152</sup> h <sup>0,8696</sup>	0,82	0,26	< 0,01
Diámetro de copa	PS = 0,1943 d <sup>2,4877</sup>	0,79	0,27	< 0,01
Altura	PS = 0,9017 h <sup>2,8806</sup>	0,58	0,56	< 0,01
<b><i>R. trinervia</i></b>				
Diámetro de copa y altura	PS = 0,4037 d <sup>1,6373</sup> h <sup>0,2553</sup>	0,59	0,22	< 0,01
Diámetro de copa	PS = 0,4031 d <sup>1,8116</sup>	0,58	0,21	< 0,01
Altura	PS = 1,4712 h <sup>1,4428</sup>	0,34	0,32	0,012
<b><i>B. actinacantha</i></b>				
Diámetro de copa y altura	PS = 0,1907 d <sup>1,7877</sup> h <sup>0,8765</sup>	0,86	0,21	< 0,01
Diámetro de copa	PS = 0,1854 d <sup>2,0859</sup>	0,81	0,24	< 0,01
Altura	PS = 0,7376 h <sup>2,5354</sup>	0,45	0,73	< 0,01

d= Diámetro de copa en metros h= Altura total de cada cepa en metros  $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio

Para las tres especies los modelos que mejor se ajustan son aquellos que utilizan el diámetro de copa y la altura. Para *C. odorifera* se obtiene un  $r^2$  de 0,82 ( $P < 0,01$ ). En el caso de *R. trinervia* se obtiene un coeficiente de determinación de 0,59 (Figura 5) y para *B. actinacantha*, el modelo seleccionado, al igual que en las otras especies, es el que utiliza como variables al diámetro de copa y a la altura obteniendo un coeficiente de determinación del 0,86 ( $P < 0,01$ ), siendo la especie que mejor se ajusta.

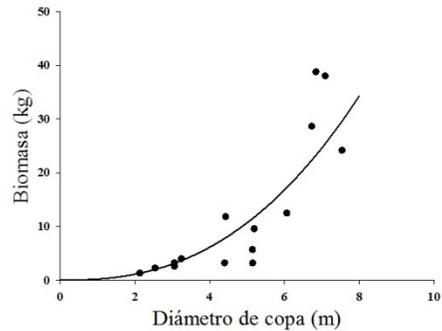
Los modelos finales de cada una de las especies en estudio fueron corregidos por la semisuma del error cuadrático medio, en el Apéndice 2 se describen los parámetros utilizados para desarrollar la corrección.

a.- *Colliguaja odorifera* (d, h)



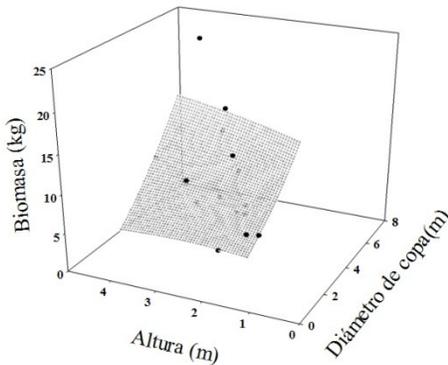
PS = 0,1932 d<sup>2,015</sup> h<sup>0,869</sup> r<sup>2</sup> = 0,82 P < 0,01

b.- *Colliguaja odorifera* (d)



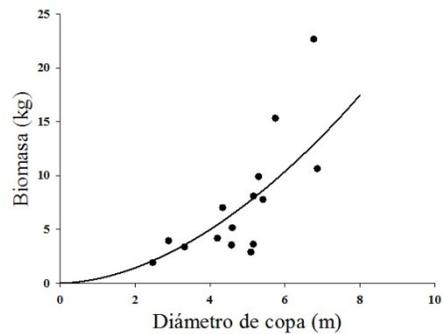
PS = 0,1943 d<sup>2,4877</sup> r<sup>2</sup> = 0,79 P < 0,01

c.- *Retanilla trinervia* (d, h)



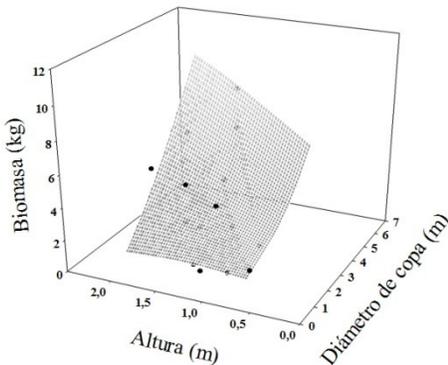
PS = 0,4037 d<sup>1,637</sup> h<sup>0,255</sup> r<sup>2</sup> = 0,59 P < 0,01

d.- *Retanilla trinervia* (d)



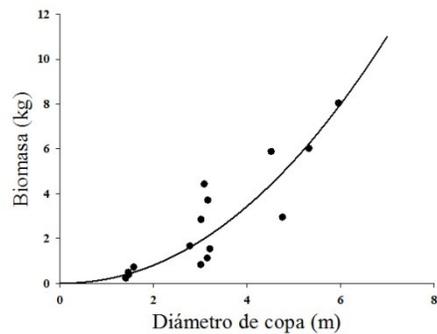
PS = 0,4031 d<sup>1,811</sup> r<sup>2</sup> = 0,58 P < 0,01

e.- *Berberis actinacantha* (d, h)



PS = 0,1907 d<sup>1,787</sup> h<sup>0,876</sup> r<sup>2</sup> = 0,86 P < 0,01

f.- *Berberis actinacantha* (d)

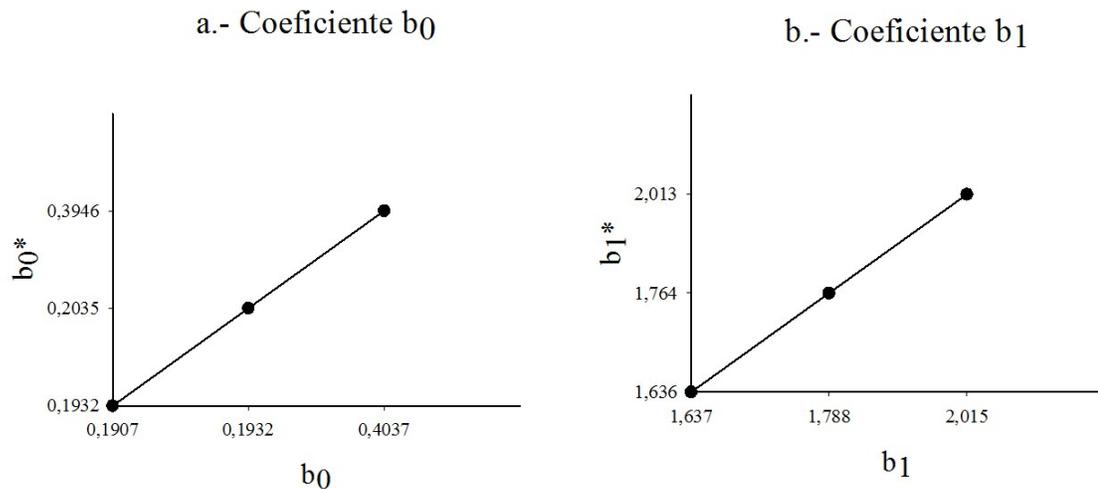


PS = 0,1854 d<sup>2,085</sup> r<sup>2</sup> = 0,81 P < 0,01

**Figura 5.** Modelos alométricos de biomasa aérea total seleccionados para cada especie. a.- *Colliguaja odorifera* (diámetro de copa y altura) b.- *Colliguaja odorifera* (diámetro de copa) c.- *Retanilla trinervia* (diámetro de copa y altura) d.- *Retanilla trinervia* (diámetro de copa) e.- *Berberis actinacantha* (diámetro de copa y altura) f.- *Berberis actinacantha* (diámetro de copa). Bajo cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son PS= Biomasa (kg), d=Diámetro de copa (m) y h=Altura (m).

### 3.2 Validación de los resultados

Se analizaron los coeficientes del modelo ( $b_0$  y  $b_1$ ); de lo cual se puede concluir que cada coeficiente se encuentra dentro de los intervalos de confianza determinados (Figura 6) y los valores obtenidos por el modelo y por el método Bootstrap son muy cercanos lo que puede validar los resultados tanto para las funciones por componente de cada especie como para las funciones totales. En el Apéndice 3 se detallan los resultados obtenidos de la validación según el método Bootstrap, tanto para las funciones por componente como para las funciones totales de biomasa de cada especie.



**Figura 6.** Gráficos de los coeficientes  $b_0$  y  $b_1$  de los modelos de biomasa total para cada especie. a.- Coeficiente  $b_0$  b.- Coeficiente  $b_1$ .  $b_0$  y  $b_1$ = valores obtenidos en los modelos ajustados  $b_0^*$  y  $b_1^*$ = valores obtenidos por el método Bootstrap.

Además se analizó el valor de  $P$ ; en el caso de *B. actinacnatha* y *C. odorifera* (Cuadro 6) los valores de todas las variables se encontraron dentro del intervalo de confianza ( $P < 0,01$ ) para *R. trinervia* todas las variables obtuvieron valores de  $P$  menores a 0,01 excepto el follaje, que es la variable de menor coeficiente de determinación presentada dentro del estudio; lo cual se justifica ya que al momento de realizar la recolección de las muestras la especie casi no presentaba follaje para su recolección y fue necesario utilizar los tallos fotosintéticamente activos además de la escasa presencia de hojas en cada individuo para ser analizadas.

**Cuadro 6.** Validación de los resultados del valor de P y el coeficiente de determinación para los modelos de biomasa total de las tres especies en estudio ( $y = b_0 x^{b1}$ )

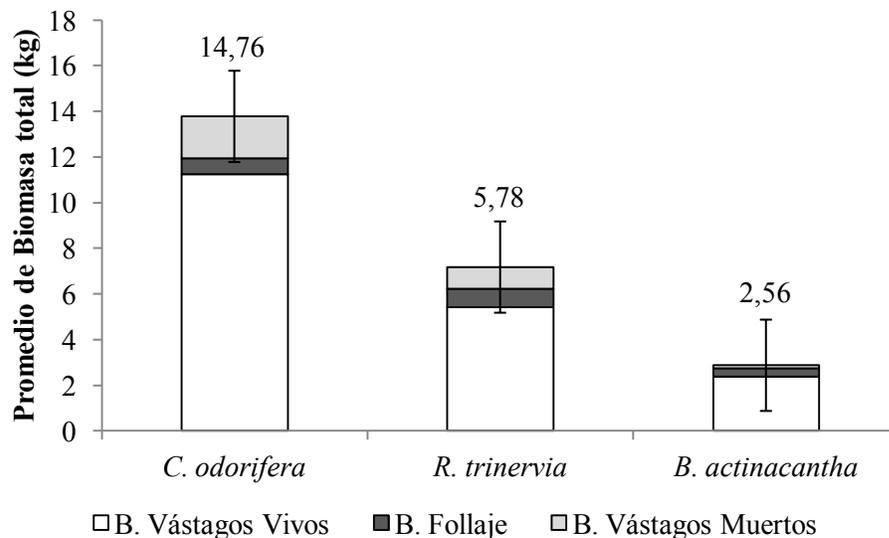
Especies	P del modelo	P*	r <sup>2</sup> del modelo	r <sup>2</sup> *	I. de confianza 95%
<i>C. odorifera</i>	3,50e <sup>-05</sup>	< 0,01	0,819	0,853	(0,668; 0,906)
<i>R. trinervia</i>	0,002	0,001	0,653	0,712	(0,395; 0,815)
<i>B. actinacantha</i>	1,05e <sup>-05</sup>	< 0,01	0,852	0,88	(0,742; 0,916)

\* = Coeficientes obtenidos por el método Bootstrap.

Los coeficientes de determinación de cada componente, en las tres especies se encuentran dentro de los intervalos de confianza estimados. En el caso de las funciones totales de cada especie, los coeficientes de determinación obtenidos en cada modelo son cercanos a los obtenidos por la validación según el modelo Bootstrap.

### 3.3 Estimación de la biomasa aérea de *C. odorifera*, *R. trinervia* y *B. actinacantha*.

En la Figura 7 se observan los promedios de biomasa aérea por arbusto en kilogramos para cada especie, en general la biomasa de las tres especies se concentró en mayor proporción en los vástagos vivos y en el caso de *B. actinacantha* el menor valor se registró en los vástagos muertos por el contrario en *C. odorifera* y *R. trinervia* este se acumuló en el follaje de ambos arbustos.



**Figura 7.** Promedio de la biomasa aérea total por componente de las tres especies analizadas; *C. odorifera*, *R. trinervia* y *B. actinacantha*. Sobre las barras se representa la desviación estándar de cada especie.

Para *C. odorifera*, el mayor promedio de biomasa aérea se observó en vástagos vivos, con 11,23 kg/individuo (82%). El promedio de biomasa de follaje fue de 0,72 kg/individuo (5%) y de vástagos muertos fue de 1,83 kg/individuo (13%).

En *R. trinervia*, el mayor promedio de biomasa aérea se obtuvo para vástagos vivos, con 5,43 kg/individuo (75%), para vástagos muertos el promedio fue de 1,17 kg/individuo (19%) y el menor promedio lo presentó el follaje con 0,38 kg/individuo (6%).

En *B. acthinacanta*, el mayor promedio de biomasa aérea se obtuvo en vástagos vivos, con 2,39 kg/individuo (83%), el follaje promedio 0,34 kg/individuo (12%) y el menor valor se presentó en los vástagos muertos con 0,14 kg/individuo (5%). El detalle de la biomasa por componente y total de cada individuo por especie se presenta en el Apéndice 4.

*C. odorifera* es la especie que registra el promedio más alto de biomasa aérea con 13,78 kg/individuo, acumulando entre los 15 individuos muestreados un total de 204,13 kg de biomasa, lo cual representa el 57% del total. *R. trinervia* presentó un promedio de 7,18 kg/individuo, acumulando 106,84 kg, 30% del total de biomasa acumulada y por último *B. actinacantha* fue la especie con el menor promedio de biomasa 2,87 kg/individuo, acumulando sólo 40 kg, lo que representa sólo el 13% del total de biomasa registrada.

### **3.4 Estimación del crecimiento en diámetro de los vástagos de las tres especies.**

Del análisis de los anillos de crecimiento de los arbustos estudiados, para *C. odorifera* el 53% de los vástagos presentaron anillos reconocibles, en cambio el 47% restante no fue posible identificar sus anillos; de éstos el 6% presentaba una avanzada pudrición y el resto de los vástagos, no fue posible reconocer anillos, debido a su bajo diámetro. Para *R. trinervia*, se observó que el 51% de los vástagos presentaron anillos reconocibles para su medición, en el 49% de la muestra, no fue posible identificar anillos, en donde el 9% de los vástagos presentaban galerías atribuibles a un gusano y el 15% presentaban pudrición, en el resto de los vástagos no fue posible reconocer anillos de crecimiento, debido a su bajo diámetro. *B. actinacantha*, se observó que el 44% de los vástagos presentaron anillos reconocibles para su medición. En el 56% de la muestra, no fue posible identificar anillos, en donde el 2% correspondían a vástagos que presentaban una avanzada pudrición y en el resto de los vástagos, debido a su bajo diámetro, no fue posible contabilizar anillos, mediante la metodología propuesta.

De las tres especies, *B. actinacantha* es la de menor crecimiento en largo del vástago, alcanzando 25,8 mm/año como máximo entre los 15 individuos seleccionados. Con respecto al crecimiento medio anual también presenta los valores más bajos entre 1,03 y 3,14 mm/año (Cuadro 7). El promedio del crecimiento medio anual es de 1,93 mm/año y el crecimiento en largo del vástago es de 13,33 mm/año. En el caso de los anillos de crecimiento promedia 8,3 esta especie.

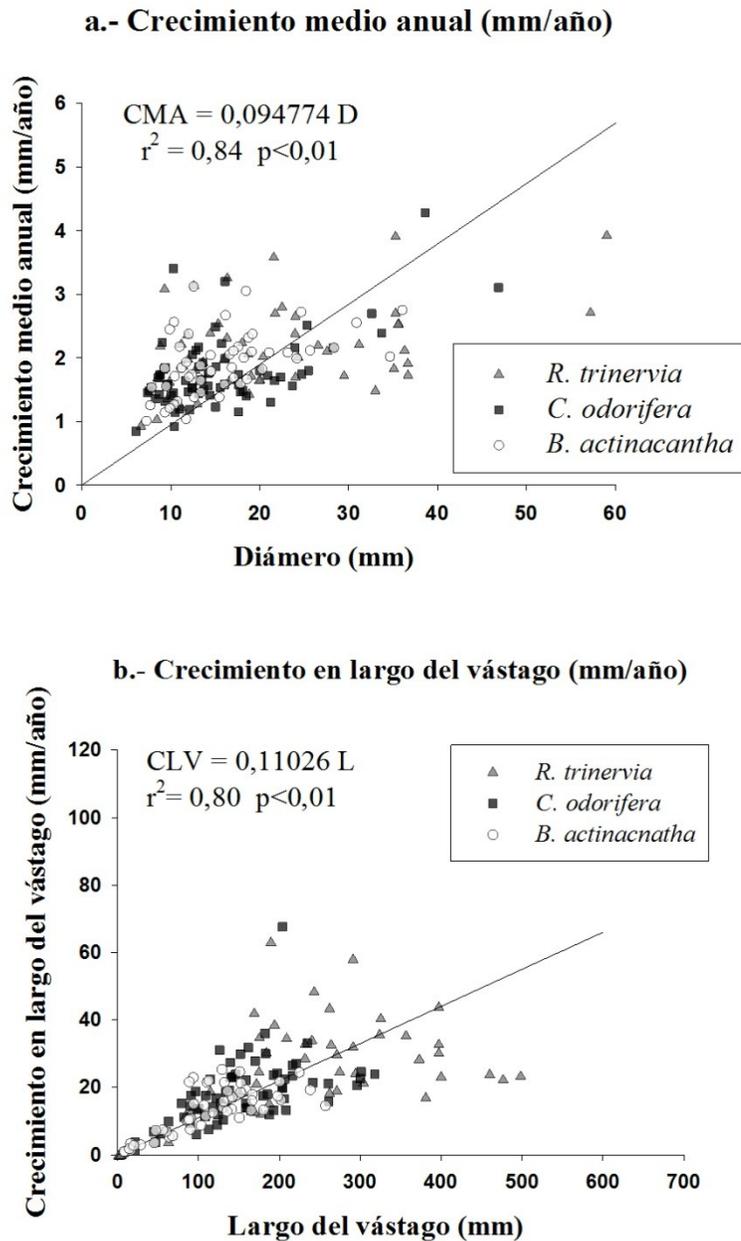
**Cuadro 7.** Rangos de variación y promedio del crecimiento anual medio, el crecimiento en largo del vástago y el número de anillos, por especie de arbusto analizada y total. En letras distintas, las diferencias significativas (Tukey,  $P < 0,05$ )

Especies	Crecimiento anual medio (mm/año)		Crecimiento en largo del vástago (mm/año)		N° de anillos	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
<i>C. odorifera</i>	1,79 (a)	0,87 - 4,29	18,88 (a,b)	1,69 - 68,00	8,80	3 - 16
<i>R. trinervia</i>	2,13 (b)	0,95 - 3,93	25,32 (a)	0,15 - 105,3	10,09	3 - 22
<i>B. actinacantha</i>	1,93 (a,b)	1,03 - 3,14	13,33 (b)	1,40 - 25,8	8,30	4 - 17
Total	1,94	0,87 - 4,29	19,22	0,15 - 105,3	9,05	3 - 22

*C. odorifera* alcanzó un crecimiento en largo del vástago 68,00 mm/año, como máximo y promedió 18,88 mm/año. Su crecimiento medio anual fluctuó entre los 0,87 y 4,29 mm/año, y su promedio fue de 1,79. El número de anillos de crecimiento varió entre 3 y 16 para los 15 individuos estudiados. La especie de mayor tamaño es *R. trinervia* alcanzando un crecimiento en largo del vástago de 105,3 mm/año como máximo, promediando 25,32 mm/año. Su crecimiento medio anual promedió 2,13 mm/año. Esta fue la especie con mayor número de anillos de crecimiento alcanzando un máximo de 22.

El crecimiento medio anual para el total de las muestras alcanzó como máximo los 4,29 mm/año, promediando 1,94 mm/año. Su crecimiento en largo del vástago fluctuó entre los 0,15 y 105,3 mm/año, promediando 19,22 mm/año y al igual que *R. trinervia* el número de anillos varía entre los 3 y los 22, para las tres especies.

Existe una correlación positiva entre el crecimiento medio anual y el diámetro ( $r^2 = 0,84$   $p < 0,01$ ) y entre el crecimiento en el largo del vástago y el largo del vástago ( $r^2 = 0,80$   $p < 0,01$ ), como lo muestra la Figura 8. Además se realizó un análisis de covarianza entre las especies y no se encontraron diferencias entre especies por lo cual se ajusta solo una línea de tendencia para todas ellas.



**Figura 8.** Modelos de Crecimiento Medio Anual y Crecimiento en el largo del vástago, para las tres especies analizadas. a.- Crecimiento Medio Anual b.- Crecimiento en el largo del vástago. Sobre cada gráfico se presenta el modelo seleccionado con el coeficiente de determinación asociado ( $r^2$ ), donde las variables son CMA=Crecimiento medio anual (mm/año), CLV = crecimiento en el largo del vástago (mm/año) D=diámetro (mm) y L=largo del vástago (mm).

## 4 DISCUSIÓN

Sprent (1972) indica que la relación entre la biomasa de un arbusto y una medida de su estructura, como por ejemplo la altura, es con una alta probabilidad, alométrica (i.e. cambios de biomasa de los componentes se correlacionan con los cambios en el tamaño total (Gould, 1966)). Los resultados obtenidos apoyan esta aseveración, ya que al ajustar los modelos se llegan a valores elevados de coeficientes de determinación y bajos errores, además de ser modelos sencillos y de fácil aplicación.

Para las tres especies analizadas los mejores ajustes para modelos por componentes se obtienen para vástagos vivos, le siguen los vástagos muertos y el follaje. En los modelos de componentes, se destaca el bajo ajuste obtenido por *Retanilla trinervia*, con respecto a los otros modelos de follaje, esto podría deberse a que la especie, es un arbusto decíduo que en verano al verse enfrentado a largos períodos de sequía pierde sus hojas para así disminuir la pérdida de agua (Hoffman 1972) y al momento de recolección de los vástagos se encontraba casi sin follaje por lo cual, para el ajuste de los modelos se utilizaron los tallos fotosintéticamente activos en su reemplazo.

Debido a los bajos ajustes obtenidos, las variables altura de inserción y altura total ( $r^2 < 0,52$ ) se descartan como estimadores de biomasa para los arbustos analizados, lo cual concuerda con lo registrado por Iglesias y Haydée (2010), para otras especies de arbustos (*Acacia furcatispina*, *Geoffroea decorticans*, *Prosopis flexuosa*), en donde concluyen que la altura de los arbustos no es un buen indicador de la biomasa, ya que se obtienen valores muy bajos de coeficientes de determinación. Lo anterior indicaría que las alturas como estimadores por sí solas no serían efectivas, pero al relacionarlas con el diámetro mejora la capacidad de ajuste de los modelos, ya que los modelos tanto por componentes como de biomasa aérea total demostraron tener el mejor ajuste al combinar la variable diámetro de copa y altura total y la relación diámetro de vástago y altura de vástago.

Considerando que lo que se busca son variables de fácil medición, el diámetro de copa y el diámetro de vástago por sí solo, tiene la capacidad de ajustar de forma consistente los modelos ( $r^2 > 0,50$ ), lo cual permitiría sólo tomar estas variables para efectuar estudios similares en arbustos.

La distribución de la biomasa aérea por componente, en las tres especies se concentra en los vástagos vivos. En *C. odorifera* y *R. trinervia* le siguen los vástagos muertos y luego el follaje. Para *B. actinacantha* se observó una mayor concentración de biomasa de follaje que de vástagos muertos.

Iglesias y Haydée (2010), plantean que los modelos de biomasa son generados sobre la base de una especie en particular, sin embargo las especies de una misma formación vegetal presentan similitudes en su morfología y en la asignación de la biomasa aérea, lo que permitiría generar un único modelo predictivo para estimar la biomasa de un conjunto de especies a partir de variables alométricas comunes. En este caso en particular las tres especies estudiadas no poseen similitudes morfológicas y la acumulación de biomasa es similar en el caso de *C. odorifera* y *R. trinervia*. Pero al realizar un análisis ANCOVA se pudo concluir que existen diferencias significativas entre las especies por lo cual no se puede utilizar un mismo modelo alométrico para generar una sola función de biomasa utilizando las mismas variables predictoras de fácil medición, como son el diámetro de cada vástago y la altura del vástago en el caso de los modelos por componente y el diámetro de copa y la altura total para los modelos de biomasa total por especie.

Como señalan Ryan *et al.* (1997) y Carey *et al.* (1998); existe gran información sobre el crecimiento de árboles pero en el caso de arbustos está muy poco documentada. La metodología aplicada permite realizar una aproximación a la estimación de la tasa de crecimiento de las especies arbustivas, ya que para las especies analizadas se encontró una fuerte correlación positiva entre las variables de crecimiento (crecimiento medio anual y crecimiento en el largo del vástago) y el número de anillos de crecimiento.

## 5 CONCLUSIONES

El uso de modelos alométricos dió buenos resultados en la estimación de biomasa total y por componentes de las tres especies estudiadas. La utilización de variables predictoras de fácil medición facilitó el cálculo de la biomasa, siendo la relación diámetro basal – altura y diámetro de copa - altura las que mejores resultados entregaron. Por otro lado los modelos que utilizaron como variable predictora la altura o la altura de inserción no presentaron ajustes significativos, ya que se obtuvieron valores bajos de coeficiente de determinación y errores muy elevados.

Las tres especies, son diferentes morfológicamente, en cuanto al diámetro de copa, la altura total y la cantidad de vástagos por cepa, pero al calcular los modelos de biomasa por componente las tres se ajustaron de buena forma obteniendo valores altos de coeficientes de determinación y bajos errores. El modelo que mejor se ajustó por componente es el que relaciona el diámetro basal de cada vástago con la altura de cada vástago.

Los modelos de biomasa total por especie también presentaron un buen ajuste, obteniendo coeficientes de determinación sobre el 39% y  $P < 0,01$  en todos los modelos planteados. En el caso particular de la biomasa total los modelos que mejor se ajustaron son los que relacionan el diámetro de copa y la altura total de cada especie.

Con respecto a la obtención de biomasa por componente para cada especie, *C. odorifera* y *R. trinervia* se puede concluir que la mayor concentración de ésta se ubica en los vástagos vivos, 81% en el caso de *C. odorifera* y 76% en el caso de *R. trinervia*, y en ambas especies la menor concentración se obtiene en el follaje con 5% y 6%, respectivamente. *B. actinacantha* obtiene la mayor concentración en los vástagos vivos con un 83%, seguido por el follaje con un 12% y los vástagos muertos los cuales solo acumulan el 5% total de la biomasa de esta especie.

Finalmente para la biomasa total por especie se concluyó que *C. odorifera* fue la especie que mas biomasa concentró promediando entre los 15 individuos  $13,78 \pm 11,51$  kg/individuo, *R. trinervia* presenta  $7,18 \pm 3,52$  kg/individuo y *B. actinacantha* es la que menor biomasa concentra con  $2,87 \pm 2,46$  kg/individuo en promedio.

Del análisis de los anillos de crecimiento de las especies estudiadas se concluye que se pueden identificar y cuantificar anillos de crecimiento en un alto porcentaje (sobre 40%) y que mediante estos se pueden inferir las tasas de crecimientos de estas especies dada a alta correlación entre el crecimiento y los anillos. Los rangos de crecimiento medio anual de las tres especies fluctúan entre los 0,87 y 4,29 mm/año, en el caso del crecimiento en el largo del vástago estos varían entre los 0,15 y 105,3 mm/año y por último las edades de los vástagos fluctúan entre los 3 y 22 años.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

APPLEGATE, G; GLIMOUR, D y MOHNS, B. 1988. The use of biomass estimations in the management of forest for fuelwood and fodder production. Commonwealth Forestry Review. 67(2): 141-148.

AVILEZ R. 2002. Diagnóstico del ordenamiento territorial de la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. Reporte interno. Santiago, Chile. 67p.

BASKERVILLE, G. 1972. Logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. Forest. Res. 2: 49-53.

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. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 76 p.

CAREY, E.; CALLAWAY, R. y DELUCIA, E. 1998. Increased photosynthesis offsets cost of allocation to sapwood in an arid environment. Ecological Society of America, Washington. 79: 2281-2291.

CODECIAGRO y Universidad de Chile. 1981. Informe parcial N°2 Descripción y análisis silvoagropecuario Hacienda Loncha. Corporación Privada para el Desarrollo de las Ciencias Agropecuarias y Facultades de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile. 100p.

CODELCO CHILE. 2006. Proyecto “Planta abatimiento de Molibdeno y regulación de pH en RIL Carén”. Declaración de Impacto Ambiental. Rancagua, Chile. 137p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2000. Plan de Manejo Reserva Nacional Roblería Del Cobre de Loncha. Período 2001-2011. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal VI Región Libertador Bernardo O’Higgins. 90p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2009. Áreas silvestres protegidas de Chile. Parques. Reservas Nacionales. Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. pp. 4 – 7.

DIACONIS, P y EFRON, B. 1983. Computer intensive methods in statistics. Scientific American 248(5), 116-13.

DURÁN, 2005. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en un bosque esclerófilo de la Comuna de María Pinto, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 52 p.

EVANS, R. 1974. Energy Plantations- Should we grow trees for power-plant fuel. Canadian Forest Service. Information Report VP-X-129. 15p

GOULD S.J. 1966. Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny. *Biological Reviews* 41: 587-640.

GUTIÉRREZ, J. 2001. Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas de la IV Región. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena, Chile 16: 253 - 260.

GUTIÉRREZ, J y SQUEO F. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. 13(1):36-45.

HOFFMANN, A. 1972. Morphology and histology of *Trevoa trinervis* (*Rhamnaceae*), a drought deciduous shrub from the Chilean matorral. *Flora* 161:527-538

HOFFMANN, A. 1998. Flora Silvestre de Chile, Zona Central. Santiago, Edición 4. Fundación Claudio Gay. 254p.

IGLESIAS, M y HAYDÉE, A. 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral* 20: 71-79

KER, M. 1980. Tree biomass equations for seven species in Southwestern New Brunswick, Maritimes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Environment Canada. Information Report M-X-114. 18p.

LANDRUM, L. R. 2003. Berberidaceae. En C. Marticorena y R. Rodríguez [eds.], *Flora de Chile* 2(2):1-23.

LINDEROS, M. 1986 Funciones locales de biomasa (madera y corteza) para *Pinus radiata* D. Don. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 45p.

MADGWICK, H. 1973. Biomass and productivity models of forests canopies. Analysis of temperate forests ecosystems. Berlin, RFA, Springer Verlag. pp. 43- 53.

NEWBOULD, P. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. International Biological Programme, London, Blackwell Sci. Publ. 62p.

ORREGO, S y DEL VALLE, J. 2001. Eficiencia de las coberturas vegetales en la asimilación del CO<sub>2</sub>. Informe Final. Empresas Públicas de Medellín. E.S.P. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.

PARDE, J. 1980. Forest Biomass. *Forestry Products Abstracts* 3(8): 165-184.

PASTOR, J. y BOCKHEIM, J. 1981. Biomass and production of an aspen mixed hardwood- spodosol ecosystem in northern Wisconsin. *Can. J. Forest. Res.* 11: 132-138.

PEDRASA, M. 1989. Producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de Ruil en la zona de Constitución. Tesis de Grado Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago de Chile. 112p.

PRADO, J; INFANTE, P; ARRIAGADA, M y AGUIRRE, S. 1988. Funciones de biomasa para siete especies arbustivas en la IV región. CONAF/PNUD/FAO. Proyecto FO/DP/CHI/83/017. Documento de trabajo N° 14. 132p.

R CORE TEAM 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RASBAND WS. 2013. ImageJ, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, [imagej.nih.gov/ij/](http://imagej.nih.gov/ij/).

RYAN, M.; BINKLEY, D. y FOWNES, J. 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research*. 17:13-262.

SCHLEGEL B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 13p.

SIMON, J. 1969. *Basic Research Methods in Social Science: The Art of Empirical Investigation*. New York. Random House.

SPREMT, P. 1972. The mathematics of size and shape. *Biometrics* 28: 23-27.

SPRUGEL, D. G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64: 209-210.

TELLER, A. 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a spruce (*Picea abies*) forest (Strainchamps, 1983). *Commonw For.* 67 (2): 129-147.

VALLEJO, A.; HERNÁNDEZ, P.; De JONG, B.; MARTÍNEZ, C. y RODRÍGUEZ, P. 2008. Preguntas frecuentes sobre la estimación de carbono para proyectos forestales MDL. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. CATIE – CIFOR (Turrialba, Costa Rica). pp.43-66.

WHITTAKER, R. 1975. *Communities and Ecosystems*. Second Edition. New York, MacMillan. 385p.

WHITTAKER, R., y MARKS, L. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. In H. Leith and R. H. Whittaker (Eds.). *Primary productivity of the biosphere*. *Ecological Studies*. 14, Springer Verlag, New York, pp 113-124.

## APÉNDICES

Apéndice I. Modelos por componente de las tres especies estudiadas.

Cuadro I.1. Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *C. odorifera*, utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.

<i>Colliguaja odorifera</i>				
	Modelo	$r^2$	$S_x^2$	P
<b>Vástagos Vivos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0441 d <sup>1,9507</sup> h <sup>0,6225</sup>	0,92	0,27	< 0,01
Diámetro	PS = 0,3336 d <sup>2,35925</sup>	0,90	0,35	< 0,01
Altura	PS = 0,0034 h <sup>2,2328</sup>	0,64	1,19	< 0,01
Altura de inserción	PS = 89,4697 hi <sup>0,4596</sup>	0,07	3,12	< 0,01
<b>Vástagos Muertos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0423 d <sup>2,0916</sup> h <sup>0,4796</sup>	0,92	0,18	< 0,01
Diámetro	PS = 0,2383 d <sup>2,3298</sup>	0,91	0,21	< 0,01
Altura	PS = 0,0044 h <sup>2,0909</sup>	0,47	1,25	< 0,01
Altura de inserción	PS = 37,9550 hi <sup>0,3808</sup>	0,06	2,26	< 0,01
<b>Follaje</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0040 d <sup>1,726</sup> h <sup>0,6876</sup>	0,75	0,93	< 0,01
Diámetro	PS = 0,0376 d <sup>2,178</sup>	0,72	1,00	< 0,01
Altura	PS = 0,0003 h <sup>2,1907</sup>	0,55	1,62	< 0,01
Altura de inserción	PS = 4,7167 hi <sup>0,5398</sup>	0,10	3,36	0,05

d= Diámetro de copa en metros h= Altura total de cada cepa en metros hi= Altura de inserción  
 $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio.

Cuadro I.2. Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *R. trinervia*, utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.

<i>Retanilla trinervia</i>				
	Modelo	$r^2$	$S_x^2$	$P$
<b>Vástagos Vivos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 1,8065 d <sup>2,04653</sup> h <sup>-0,12344</sup>	0,73	0,68	< 0,01
Diámetro	PS = 0,9954 d <sup>2,0493</sup>	0,71	0,70	< 0,01
Altura	PS = 1532,87 a <sup>-0,1312</sup>	0,02	2,42	0,29
Altura de inserción	PS = 727,85 ai <sup>0,03611</sup>	0,00	2,35	0,84
<b>Vástagos Muertos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 1,5258 d <sup>1,8261</sup> h <sup>0,01882</sup>	0,61	0,96	< 0,01
Diámetro	PS = 1,5896 d <sup>1,83692</sup>	0,61	0,93	< 0,01
Altura	PS= 160,95 a <sup>0,1732</sup>	0,04	2,30	0,24
Altura de inserción	PS = 126,73 ai <sup>0,3116</sup>	0,02	2,62	0,39
<b>Follaje</b>				
Diámetro y Altura	PS = 24,739 d <sup>0,57782</sup> h <sup>-0,05645</sup>	0,09	1,74	0,13
Diámetro	PS = 18,474 d <sup>0,5798</sup>	0,05	1,71	0,05
Altura	PS = 135,70 a <sup>-0,05998</sup>	0,00	1,86	0,63
Altura de inserción	PS = 179,91 ai <sup>-0,1719</sup>	0,02	1,87	0,36

d= Diámetro de copa en metros h= Altura total de cada cepa en metros hi= Altura de inserción  
 $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio.

Cuadro I.3. Selección de los mejores modelos de biomasa aérea ajustados por componente para *B. actinacantha*, utilizando el diámetro basal y la altura de cada vástago.

<i>Berberis actinacantha</i>				
	Modelo	$r^2$	$S_x^2$	P
<b>Vástagos Vivos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0339 d <sup>1,8086</sup> h <sup>0,7121</sup>	0,92	0,25	< 0,01
Diámetro	PS = 0,3250 d <sup>2,1927</sup>	0,79	0,67	< 0,01
Altura	PS = 0,4495 h <sup>1,2281</sup>	0,47	1,69	< 0,01
Altura de inserción	PS = 17,2567 hi <sup>0,6316</sup>	0,23	2,21	< 0,01
<b>Vástagos Muertos</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0478 d <sup>1,2436</sup> h <sup>0,9125</sup>	0,72	0,65	< 0,01
Diámetro	PS = 0,8722 d <sup>1,7430</sup>	0,63	0,84	< 0,01
Altura	PS = 0,0222 h <sup>1,7424</sup>	0,52	1,10	< 0,01
Altura de inserción	PS = 4,4451 hi <sup>0,7075</sup>	0,44	1,07	< 0,01
<b>Follaje</b>				
Diámetro y Altura	PS = 0,0265 d <sup>1,5146</sup> h <sup>0,5176</sup>	0,57	1,31	< 0,01
Diámetro	PS = 0,1317 d <sup>1,7928</sup>	0,50	1,51	< 0,01
Altura	PS = 0,2332 h <sup>0,9267</sup>	0,27	2,23	< 0,01
Altura de inserción	PS = 5,8826 hi <sup>0,3202</sup>	0,05	2,69	0,05

d= Diámetro de copa en metros h= Altura total de cada cepa en metros hi= Altura de inserción  
 $r^2$ = Coeficiente de determinación  $S_x^2$  = Error cuadrático medio.

Apéndice II. Parámetros estadísticos del modelo seleccionado, para cada componente y total, de los tres arbustos estudiados.

Cuadro II.1. Parámetros estadísticos por componente, para el modelo seleccionado de *C. odorifera*.

<i>Colliguaja odorifera</i>								
<b>Diámetro - Altura</b>	<b>A</b>	<b>A*</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup>/2</b>	<b>P</b>
Vástagos Vivos	0,0384	0,0441	1,9507	0,6225	0,92	0,27	0,14	< 0,01
Vástagos Muertos	0,0387	0,0423	2,0916	0,4796	0,92	0,18	0,09	< 0,01
Follaje	0,0025	0,0040	1,7260	0,6876	0,75	0,93	0,47	< 0,01

$Ln Y=A+B Ln X + C Ln Z$ ; Y= peso seco en gramos A, B, C=parámetros del modelo X=diámetro de cada vástago en centímetros Z=altura del vástago en centímetros  $A^*=A+ S_x^2/2$   $r^2$ = coeficiente de determinación  $S_x^2$ =error cuadrático medio.

Cuadro II.2. Parámetros estadísticos por componente, para los modelos seleccionados de *R. trinervia*.

<i>Retanilla trinervia</i>								
<b>Modelo</b>	<b>A</b>	<b>A*</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup>/2</b>	<b>P</b>
<b>Diámetro - Altura</b>								
Vástagos Vivos	1,2886	1,8064	2,04653	-0,12344	0,73	0,68	0,34	< 0,01
Follaje	10,3545	24,7398	0,57782	-0,05645	0,09	1,74	0,87	0,13
<b>Diámetro</b>								
Vástagos Muertos	0,9964	1,5897	1,83692		0,61	0,93	0,47	< 0,01

$Ln Y=A+B Ln X + C Ln Z$ ; Y= peso seco en gramos A, B, C=parámetros del modelo X=diámetro de cada vástago en centímetros Z=altura del vástago en centímetros  $A^*=A+ S_x^2/2$   $r^2$ = coeficiente de determinación  $S_x^2$ =error cuadrático medio.

Cuadro II.3. Parámetros estadísticos por componente, para el modelo seleccionado de *B.actinacantha*.

<i>Berberis actinacantha</i>								
<b>Diámetro - Altura</b>	<b>A</b>	<b>A*</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup></b>	<b>S<sub>x</sub><sup>2</sup>/2</b>	<b>P</b>
Vástagos Vivos	0,0299	0,0339	1,8086	0,7121	0,92	0,25	0,13	<0,01
Vástagos Muertos	0,0345	0,0478	1,2436	0,9125	0,72	0,65	0,33	<0,01
Follaje	0,0137	0,0265	1,5146	0,5176	0,57	1,31	0,66	<0,01

$Ln Y=A+B Ln X + C Ln Z$ ; Y= peso seco en gramos A, B, C=parámetros del modelo X=diámetro de cada vástago en centímetros Z=altura del vástago en centímetros  $A^*=A+ S_x^2/2$   $r^2$ = coeficiente de determinación  $S_x^2$ =error cuadrático medio.

Cuadro II.4. Parámetros estadísticos por especie según los modelos analizados.

Especies	A	A*	B	C	r <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> <sup>2</sup> /2	P
<b><i>C. odorifera</i></b>								
Diámetro de copa y altura	0,0632	0,1932	2,379	0,638	0,85	0,25	0,13	< 0,01
Diámetro de copa	0,0743	0,1943	2,726		0,84	0,25	0,12	< 0,01
Altura	0,5617	0,9017	3,012		0,56	0,68	0,34	0,001
<b><i>R. trinervia</i></b>								
Diámetro de copa y altura	0,2937	0,4037	1,804	0,324	0,65	0,21	0,11	0,0018
Diámetro de copa	0,3031	0,4031	2,025		0,64	0,2	0,1	0,0003
Altura	13,012	14,712	1,633		0,39	0,34	0,17	0,0122
<b><i>B. actinacantha</i></b>								
Diámetro de copa y altura	0,0707	0,1907	1,786	0,898	0,85	0,24	0,12	< 0,01
Diámetro de copa	-0,1746	0,1854	2,091		0,81	0,73	0,36	< 0,01
Altura	0,6276	0,7376	2,555		0,45	0,21	0,11	0,0065

*Ln Y=A+B Ln X + C Ln Z*; Y= peso seco en gramos A, B, C=parámetros del modelo X=diámetro de cada vástago en centímetros Z=altura del vástago en centímetros A\*= $A + S_x^2/2$  r<sup>2</sup>= coeficiente de determinación S<sub>x</sub><sup>2</sup>=error cuadrático medio.

Apéndice III. Validación de los resultados mediante el método Bootstrap.

Cuadro III.1. Validación de los resultados del coeficiente de determinación y el valor de  $P$ , para el modelo  $y = b_0x^{b_1}$

Especies	$r^2$ del modelo	$r^{2*}$	I. de confianza 95%	$P$ del modelo	$P^*$	$b_0$ del modelo	$b_0^*$	I. de confianza 95%	$b_1$ del modelo	$b_1^*$	I. de confianza 95%
<b><i>Colliguaja odorifera</i></b>											
Vástagos Vivos	0,918	0,922	(0,877; 0,953)	$8,12e^{-40}$	< 0,01	0,0441	0,0430	(0,015; 0,100)	1,951	1,954	(1,720; 2,185)
Vástagos Muertos	0,925	0,932	(0,877; 0,964)	$3,45e^{-19}$	< 0,01	0,0423	0,0446	(0,011; 0,127)	2,092	2,092	(1,840; 2,342)
Follaje	0,746	0,758	(0,651; 0,823)	$7,13e^{-25}$	< 0,01	0,0040	0,0038	(0,001; 0,020)	1,726	1,729	(1,221; 2,243)
<b>Total</b>	<b>0,819</b>	<b>0,853</b>	<b>(0,668; 0,906)</b>	<b><math>3,50e^{-05}</math></b>	<b>&lt; 0,01</b>	<b>0,1932</b>	<b>0,2035</b>	<b>(0,065; 0,405)</b>	<b>2,015</b>	<b>2,013</b>	<b>(1,109; 2,876)</b>
<b><i>Retanilla trinervia</i></b>											
Vástagos Vivos	0,729	0,741	(0,629; 0,811)	$6,88e^{-19}$	< 0,01	18,065	18,239	(0,435; 3,702)	2,047	2,035	(1,763; 2,344)
Vástagos Muertos	0,609	0,635	(0,374; 0,803)	$4,77e^{-09}$	< 0,01	15,258	10,123	(0,321; 3,459)	1,837	1,842	(1,381; 2,288)
Follaje	0,086	0,122	(-0,156; 0,221)	0,127	0,119	24,739	255,848	(0,944; 103,234)	0,578	0,587	(-0,044; 1,189)
<b>Total</b>	<b>0,653</b>	<b>0,712</b>	<b>(0,395; 0,815)</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,4037</b>	<b>0,3946</b>	<b>(0,107; 1,282)</b>	<b>16,373</b>	<b>16,369</b>	<b>(0,558; 2,722)</b>
<b><i>Berberis actinacantha</i></b>											
Vástagos Vivos	0,921	0,926	(0,892; 0,945)	$1,09e^{-42}$	< 0,01	0,0339	0,0337	(0,018; 0,048)	1,809	1,809	(1,649; 1,965)
Vástagos Muertos	0,722	0,754	(0,541; 0,855)	$2,69e^{-11}$	< 0,01	0,0478	0,0467	(0,006; 0,185)	1,244	1,252	(0,795; 1,673)
Follaje	0,575	0,587	(0,446; 0,681)	$4,21e^{-14}$	< 0,01	0,0265	0,0268	(0,003; 0,049)	1,515	1,514	(1,121; 1,913)
<b>Total</b>	<b>0,852</b>	<b>0,88</b>	<b>(0,742; 0,916)</b>	<b><math>1,05e^{-05}</math></b>	<b>&lt; 0,01</b>	<b>0,1907</b>	<b>0,1932</b>	<b>(0,109; 0,322)</b>	<b>1,788</b>	<b>1,764</b>	<b>(1,283; 2,346)</b>

\* = Coeficientes obtenidos por el método Bootstrap.

Apéndice IV. Detalle de la biomasa aérea por individuo para las tres especies seleccionadas

Cuadro IV.1. Biomasa aérea de *C. odorifera*.

<i>C. odorifera</i>					
N° Arbusto	Diámetro	Altura	Biomasa Vástagos	Biomasa	Biomasa vástagos
			Vivos (g)	Follaje (g)	Muertos (g)
3	3,06	1,45	2.877	220	446
4	4,43	2,17	7.817	551	3.289
5	5,2	2,15	7.876	543	3.125
6	6,74	2,93	22.996	1.439	7.649
7	3,24	1,77	2.637	181	725
9	5,15	2,04	3.867	264	8
10	4,4	1,75	2.718	183	184
11	3,06	1,7	2.624	176	0
13	6,07	2,8	11.997	760	614
14	2,14	1,9	782	51	0
15	5,15	3,5	5.486	371	309
17	2,54	1,87	2.201	122	0
18	6,85	3,7	38.717	2.272	2.142
19	7,54	2,27	21.392	1.468	3.942
20	7,09	3,5	34.467	2.178	5.082
<b>Promedio</b>	4,84	2,37	11.230	719	1.834
<b>Desviación</b>	1,77	0,73	12.331	753	2.327

Cuadro IV.2. Biomasa aérea de *R. trinervia*.

<i>R. trinervia</i>					
N° Arbusto	Diámetro	Altura	Biomasa Vástagos	Biomasa	Biomasa vástagos
			Vivos (g)	Follaje (g)	Muertos (g)
3	6,87	3,6	7.025	1.251	2.005
4	4,2	2,3	1.875	508	1.560
5	6,77	4,1	17.183	1.643	4.256
6	5,1	3,7	2.835	174	0
7	5,16	2,55	3.032	437	47
8	2,48	2,4	1.000	513	19
9	5,3	2,9	8.238	1.157	300
11	5,17	4,7	6.886	765	453
12	4,34	3,7	5.509	803	544
13	4,6	3	2.399	749	1.602
14	4,58	2,6	3.114	387	0
15	3,32	1,74	1.929	798	91
17	5,75	3,2	13.823	1.196	661
18	2,9	1,9	1.872	756	825
20	5,42	2,8	4.672	878	1.953
<b>Promedio</b>	4,8	3,01	5.426	801	954
<b>Desviación</b>	1,25	0,83	4.675	385	1.165

Cuadro IV.3. Biomasa aérea de *B. actinacantha*.

<i>B. actinacantha</i>						
N° Arbusto	Diámetro	Altura	Biomasa Vástagos Vivos (g)	Biomasa Hojas (g)	Biomasa Frutos (g)	Biomasa vástagos Muertos (g)
1	3,21	1,22	1.339	223	33	0
2	5,33	1,52	5.312	764	155	59
3	1,41	1,27	192	31	0	12
4	3,02	1,37	2.575	262	44	140
5	4,52	1,96	5.153	507	112	483
6	5,96	1,62	6.860	931	0	734
7	2,78	1,67	1.306	172	15	273
8	1,48	0,98	318	54	12	16
9	1,58	0,76	597	93	23	41
10	3,09	2,12	3.996	527	0	158
11	3,16	1,74	3.388	448	60	0
12	1,46	1,35	456	32	29	0
13	3,02	0,88	679	130	0	60
14	3,15	1,58	986	160	0	32
15	4,76	1,57	2.681	275	30	149
<b>Promedio</b>	3,2	1,44	2.389	307	34	144
<b>Desviación</b>	1,43	0,38	2.123	274	45	209