



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

---

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN BIOMASA AÉREA EN UN  
BOSQUE SECUNDARIO DE *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) F. M Vásquez & R.A. Rodr. EN EL  
SANTUARIO DE LA NATURALEZA CERRO EL ROBLE,  
REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniera Forestal

**MARIANGELA ANTONIETA PARATORI GIRARDI**

Profesores Guías: Sr. Sergio Donoso Calderón. Ingeniero Forestal,

Doctor Ingeniero de Montes

Srta. Karen Peña Rojas. Ingeniera Forestal,

Doctora en Fisiología de Plantas y Ambientes

---

**Santiago, Chile**

**2009**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN BIOMASA AÉREA EN UN BOSQUE SECUNDARIO DE *Nothofagus macrocarpa* (DC.) F.M Vásquez & A. Rodr. EN EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CERRO EL ROBLE, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniera Forestal

**MARIANGELA ANTONIETA PARATORI GIRARDI**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Sergio Donoso Calderón	.....67.....	.....
Prof. Guía Dra. Karen Peña Rojas	.....65.....	.....
Prof. Consejero Dr. Juan Caldentey Pont	.....67.....	.....
Prof. Consejero Sr. Manuel Ibarra Martinez	.....65.....	.....

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos a quienes contribuyeron a la realización de esta memoria de título con sus observaciones, tiempo, dedicación y apoyo.

En especial agradezco a M. Carvajal, D. May y G. Del Lago, a mi familia y a todos mis queridos amigos. También los continuos consejos y la ayuda del profesor y amigo R. Gajardo, a mis profesores guías K. Peña y S. Donoso, por su paciencia.

# ÍNDICE

Página

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 Bosques mediterráneos.....	2
2.1.1 Características generales .....	2
2.1.2 Estado actual .....	2
2.2 Importancia ecológica del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble.....	3
2.3 Antecedentes generales de <i>Nothofagus macrocarpa</i> .....	4
2.3.1 Distribución y hábitat.....	4
2.3.2 Características morfológicas y fenológicas.....	5
2.3.3 Estado de conservación .....	6
2.4 Área foliar y diferencias morfológicas de los <i>Nothofagus</i> .....	6
2.5 Antecedentes generales de biomasa.....	7
2.5.1 Definición y aplicación en ecosistemas forestales .....	7
2.5.2 Métodos de estimación de biomasa vegetal .....	8
2.5.3 Funciones de biomasa .....	9
3.0 MATERIAL Y MÉTODO .....	10
3.1 Material .....	10
3.1.1 Ubicación geográfica y superficie del área de estudio.....	10
3.1.2 Características ambientales .....	11
3.1.2.1 Clima.....	11
3.1.2.2 Geomorfología e hidrografía.....	11
3.1.2.3 Flora y fauna .....	11
3.2 Método .....	12
3.2.1 Selección de sitios y árboles muestra.....	12
3.2.2 Métodos de muestreo de biomasa y clasificación de componentes .....	13
3.2.3 Determinación del área foliar y crecimiento en altura .....	13
3.2.4 Edad y estado sanitario de los vástagos .....	14
3.2.5 Obtención de pesos secos.....	14
3.2.5.1 Determinación del peso seco de hojas y ramas.....	14
3.2.5.2 Determinación del peso seco del fuste .....	14
3.2.5.2.1 Cálculo de la densidad básica de la madera .....	15
3.2.5.2.2 Biomasa fustal.....	15
3.2.5.3 Peso seco total y estimación de biomasa de individuos.....	16
3.2.6 Jerarquización de variables y desarrollo de modelos .....	16
3.2.7 Estimación de la producción y productividad en biomasa.....	16

4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
4.1 Descripción de los sectores y del rodal .....	17
4.2 Determinación del área foliar y crecimiento en altura .....	18
4.3 Determinación de la densidad básica de la madera.....	19
4.4 Estimación de la producción de biomasa a nivel de componentes .....	20
4.4.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables .....	20
4.4.2 Ajuste de modelos .....	20
4.4.3 Análisis de residuos y validación de modelos seleccionados .....	23
4.4.4 Producción de biomasa aérea por componente y productividad media .....	25
4.5 Estimación de la producción de biomasa por hectárea .....	26
5.0 CONCLUSIONES .....	29
6.0 BIBLIOGRAFÍA .....	30

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Tabla general de rodal de un bosque secundario de <i>Nothofagus macrocarpa</i> en el sector de cerro El Roble. ....	17
Cuadro 2: Crecimiento en longitud de la ramilla principal de la copa en vástagos de <i>Nothofagus macrocarpa</i> .....	19
Cuadro 3: Matriz de correlación para los vástagos cosechados.....	20
Cuadro 4: Modelos de estimación de biomasa aérea total y por componente para vástagos de <i>N. macrocarpa</i> desarrollados en cerro El Roble.....	21
Cuadro 5: Biomasa total y por componente según clase de DAP para <i>N. macrocarpa</i> .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferencias morfológicas entre las hojas de los <i>Nothofagus</i> presentes en Chile.....	7
Figura 2: Plano de ubicación del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble .....	10
Figura 3: Transporte, separación manual de componentes y almacenamiento.....	13
Figura 4: Relación entre el área foliar y el DAP en vástagos de <i>N. macrocarpa</i> . ....	18
Figura 5: Variación de la densidad media de la madera $\pm$ error estándar a las diferentes alturas de corte de las rodelas del fuste. ....	19
Figura 6: Modelos seleccionados para determinación de biomasa aérea total y por componente: a) Componentes hojas, b) Componentes ramas y ramillas, c) Componentes fustal d) Componentes biomasa aérea total.....	22
Figura 7: Dispersión de residuos de los modelos seleccionados: a) Componente Hojas, b) Componente Ramas y Ramillas, c) Componente Fustal, d) Componente Biomasa Aérea Total.....	24
Figura 8: Distribución de la biomasa aérea total promedio por componente, según el DAP para los vástagos cosechados en verano. ....	25
Figura 9: Distribución de la biomasa aérea promedio por componente en base al peso seco total para vástagos cosechados en verano. ....	25

## RESUMEN

El presente estudio evalúa la producción y productividad de biomasa aérea en un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa* ubicado en el Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble. Para ello, en tres sectores en los que la estructura del bosque corresponde a un bosque secundario, se establecen parcelas de 0,05 ha y se obtiene la tabla de rodal del bosque.

Según la dispersión diamétrica de los individuos, se cosechan 63 vástagos, midiéndose en terreno, el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (H), la altura de tocón (Ht) y el crecimiento en longitud de la ramilla principal de la copa.

Las hojas de la copa, ramas y rodelas obtenidas de los fustes seccionados desde la base cada un metro, son transportados en sacos rotulados a laboratorio, donde se separan manualmente según componente: hojas, ramas y ramillas y fuste. El material es almacenado en bolsas de papel y secado en estufa a 65° C, hasta alcanzar peso constante, a fin de determinar el peso seco por componente y vástago.

Se determinan las variables que describen mejor el comportamiento de la biomasa y se prueban tres modelos matemáticos: lineal, potencial y exponencial. La selección de las mejores funciones de biomasa se basa en el coeficiente de determinación, el error de estimación y la dispersión de los residuos. La validación de los mismos se realiza mediante la prueba F para varianzas de dos muestras con el 10% de la muestra extraída.

Los modelos exponenciales presentan mejores parámetros de selección para las biomásas de hojas, ramas y total, mientras que para la biomasa fustal el mejor modelo es uno potencial, todos con el DAP como única variable independiente.

En términos generales la distribución de la biomasa corresponde en mayor proporción a la biomasa fustal ocupando un 80,9% de la biomasa aérea total, seguida de la biomasa de ramas y ramillas con un 15,9% y finalmente biomasa foliar con un 3,2%.

La productividad media de los vástagos es de 426 g/año y la biomasa aérea total de 38,65 Mg/ha, valor inferior a los reportados en la literatura para otras especies del género *Nothofagus*, debido probablemente a las condiciones ambientales restrictivas presentes en el Santuario Cerro El Roble.

**Palabras claves:** Biomasa aérea, *Nothofagus macrocarpa*, Productividad.

## SUMMARY

Above-ground biomass production and productivity are measured in a secondary growth *Nothofagus macrocarpa* forest located in the Nature Sanctuary Cerro El Roble. Three sectors are set up on a forest with secondary forest structure, with 0.05 hectare plots for inventory.

A total of 63 sprouts are harvested along the diametric distribution, measuring Diameter at Breast Height (DBH), total height (Ha), stump height (Ht) and length growth of the main branch of the canopy at time of harvest.

Canopy leaves, branches and stem pieces, every one meter from the stump, are transported in labeled bags to the laboratory where they are separated manually into component; leaves, branches and stem, each one into labeled paper bags, to be dried in a stove at 65 ° C, until they reach constant weight, to determine dry weight per component and shoot.

The variables that best describe the behavior of the biomass are selected to test three mathematical models: linear, potential and exponential. The coefficient of determination, mean quadratic error (ECM) and residual dispersion are used to choose the best biomass models, leaving 10% of the individuals to validate the models.

Exponential models present better parameters of selection to describe leaves, branches and total biomass, while the stem biomass is better represented by a potential model, all with DBH as independent variable.

Biomass distribution corresponds mostly to stem biomass, with 80.9% of the total aerial biomass, followed by branch biomass with 15.9% and finally leaves biomass with 3.2%.

Mean shoot productivity is 426 g year<sup>-1</sup> and forest total above-ground biomass is 38.65 Mg/ha, inferior values to those reported in the literature for other species of the genus *Nothofagus*, probably due to restrictive environmental conditions present in Cerro el Roble Sanctuary.

**Key words:** Above-ground biomass, *Nothofagus macrocarpa*, Productivity.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble, que es parte del sitio prioritario para la conservación de la diversidad biológica en Chile denominado El Roble (Muñoz *et al*, 1996; CONAMA, 2004), destaca por la presencia de matorral esclerófilo andino e importantes formaciones relictuales de roble blanco o de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*).

Sin embargo, a pesar de su importancia como ecosistema relevante a nivel nacional, no ha estado exento del proceso de deterioro que experimentan los ecosistemas naturales, producto de los impactos crecientes de las actividades humanas y el crecimiento económico basado en la explotación masiva de los recursos naturales.

Las formaciones boscosas en Chile central, constituyen un recurso escaso y progresivamente experimentan disminución en superficie, deteriorándose considerablemente su estado de conservación (Gajardo, 1981).

Las poblaciones de *N. macrocarpa* presentes en el Santuario, extremadamente frágiles, han sido sometidas a un fuerte grado de alteración, a pesar de representar un nicho potencial de biodiversidad para las distintas comunidades animales que viven en ellas.

El estado actual del conocimiento de las dinámicas y de las relaciones básicas del roble de Santiago, tales como tasas de crecimiento, productividad, área foliar, capacidad regenerativa, entre otras, es escaso o nulo. Por lo anterior, surge la necesidad de contar con información adecuada y detallada de la especie, que permita disponer de antecedentes claros que orienten acciones para la gestión de su conservación.

El presente estudio<sup>1</sup>, tuvo por objetivo principal evaluar la producción y productividad en biomasa aérea en un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa*, ubicado en el Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble, Región Metropolitana. Para ello se desarrollaron funciones estimadoras de biomasa para hojas, ramas, fuste y biomasa aérea total, determinándose y estimándose la producción y productividad media en biomasa de la especie, además de determinar el estado sanitario, el área foliar y la edad de los individuos cosechados.

---

<sup>1</sup> Parte de los resultados del proyecto Fondecyt N°1061100 “Efecto de las intervenciones silvícolas sobre: el desarrollo, relaciones hídricas y eficiencia en la conversión de energía radiante en vástagos de *Nothofagus macrocarpa*, ubicados en la zona de cerro El Roble”.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bosques mediterráneos

#### 2.1.1 Características generales

El clima mediterráneo en Chile, se extiende desde los 31° hasta 37° latitud sur y se caracteriza por presentar dos estaciones bien diferenciadas, una estación cálida y seca, y una fría y lluviosa.

La vegetación en esta zona climática comprende principalmente matorral y bosque esclerófilo de baja altura, compuesto de parches de flora leñosa de composición y edad heterogénea (Figueroa y Jaksic, 2004).

Esta vegetación se extiende entre los 32° hasta los 36° de latitud sur (Gajardo, 1994) y formaría parte de la provincia biogeográfica esclerófila chilena (Udvarvy, 1975).

Los bosques mediterráneos como los presentes en el área de estudio, se ubican en el piso vegetacional denominado Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero de *Nothofagus macrocarpa* y *Ribes punctatum* (Luebert y Pliscoff, 2006), correspondiente a las Regiones del Bosque Caducifolio, y del Matorral y del Bosque Esclerófilo (Gajardo, 1994).

En general las plantas esclerófilas, propias de estos ecosistemas, presentan patrones de crecimiento intermitentes respondiendo a las profundas variaciones del clima mediterráneo y algunas especies, propias de estos climas, tienen la capacidad de regenerar órganos vegetativos aéreos, como resultado de fuertes perturbaciones tales como incendios, cortas o ramoneo del ganado (Serra, 1990).

#### 2.1.2 Estado actual

Los bosques de las regiones mediterráneas, como aquellos presentes en el Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble, se consideran de vital importancia para estudiar cambios en los ecosistemas, producto de los efectos del cambio climático global (Lavorel *et al.*, 1998; Gajardo, 2001). Muchas de las especies de estos ecosistemas presentan distribuciones limitadas a áreas geográficas relativamente pequeñas. En el caso de la vegetación de los matorrales y bosques esclerófilos, esta se encuentra restringida a lomajes y quebradas de la cordillera de la Costa y laderas de los Andes (Teillier *et al.*, 1994).

Los ecosistemas de la zona central de Chile, han sido sometidos a una fuerte presión de explotación durante los últimos 300 años. La vegetación original establecida presentaba características fisonómicas y florísticas distintas a las que actualmente se presentan en la zona (Gajardo, 1981; Balduzzi *et al.*, 1982).

En esta región, son inexistentes las comunidades vegetacionales que no hayan experimentado algún tipo de influencia antrópica (Teillier *et al.*, 1994). La composición y la dinámica actual del estrato herbáceo y leñoso del matorral esclerófilo, es el resultado de la

acción directa o indirecta del hombre sobre las comunidades de plantas originarias (Figueroa y Jaksic, 2004).

Actualmente, estos ecosistemas se encuentran sometidos a procesos regresivos, evidenciando un menoscabo en la regeneración natural, como causa de una falla en la capacidad de almacenamiento hídrico debido a una alteración del ecosistema. La modificación de las condiciones ambientales bajo el dosel ha alterado los mecanismos reproductivos de las especies dominantes, las que son reemplazadas por especies de menor requerimiento (Gajardo, 1981).

Los ecosistemas esclerófilos, gravemente presionados, sustentan gran proporción de la biodiversidad del país, debido al alto nivel de endemismo en géneros y especies (Pauchard y Villarroel, 2002) y la singularidad de su biogeografía. Esto ha permitido que sean catalogados como uno de los “puntos calientes” de biodiversidad mundial (Myers *et al.*, 2000).

A pesar de su gran importancia, son uno de los ecosistemas menos representados en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (Luebert y Becerra, 1998). El número y tamaño de las áreas protegidas en esta región es extremadamente reducido, comparado con el resto del país (Armesto *et al.*, 1998; Pauchard y Villarroel, 2002) y en su mayoría se ubican en tierras de alta productividad las que han sido utilizadas en su gran proporción para fines agrícolas e inmobiliarios. Según Armesto *et al.* (1998), sólo remanentes demasiado dispersos han sido designados como zonas de protección.

## **2.2 Importancia ecológica del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble**

El Santuario posee un variado mosaico de unidades de vegetación, entre las que destacan remanentes de *Jubea chilensis*, formaciones relictuales de *Nothofagus macrocarpa* y la presencia de Matorral Esclerófilo Andino, originando situaciones ambientales muy diversas que conforman un conjunto de hábitats heterogéneos para las especies animales y vegetales.

Corresponde a un área privada para la protección de los relictos de roble de Santiago y de la vegetación y flora de altura de Chile central (Romero y Teillier, 2009) y es parte del sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad nacional El Roble (Muñoz *et al.*, 1996; CONAMA, 2004), abarcando un 1,12% de la superficie de dicho sitio. Es además, una de las áreas protegidas de la Región Metropolitana de Santiago, ordenado por el Plan Regulador como área de preservación ecológica.

La vegetación en el área se encuentra muy degradada, amenazada por las actividades humanas y se evidencian fenómenos acelerados de desertificación, encontrándose un nivel de deterioro mayor en la parte baja del cerro, principalmente en la zona del bosque y matorral esclerófilo (Donoso, 2007).

En el cerro El Roble, los árboles presentan un alto número de vástagos por cepa y los bosques de roble blanco son de segundo crecimiento o renovales, producto de un cambio en la estructura original. Actualmente no existen áreas maderables de la especie, lo que se

debe en gran medida a su intensa extracción en el pasado, ya que su madera es de muy buena calidad y utilizable en una amplia variedad de usos (Ormazábal y Benoit, 1987).

Las principales intervenciones antrópicas en el área han estado relacionadas con las actividades extractivas de tierra de hoja, extracción de leña, recolección de frutos y hierbas medicinales, extracción de agua para riego y bebida, elaboración de carbón y pastoreo del ganado (CONAF, 2005) y se utiliza su asociación con el hongo *Cyttaria spinosae* (Fierro, 1998).

### **2.3 Antecedentes generales de *Nothofagus macrocarpa***

El género *Nothofagus*, perteneciente a la familia de las *Fagaceae*, constituye un elemento clave en la fitogeografía del hemisferio sur, debido a su especial distribución disyunta (Van Steenis, 1972) y constituye quizás el componente más importante de las formaciones boscosas del extremo austral de Sudamérica (Gajardo, 2001). Las especies del género tienen una distribución restringida al hemisferio sur y la mayoría de las especies presentes en Chile son cotizadas por su madera, motivo por el cual han sufrido una explotación bastante intensa (Polyméris, 1993).

*Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) F.M Vásquez & R.A. Rodríguez, conocida como roble de Santiago o roble blanco, es una especie endémica chilena y correspondería al grupo de *Nothofagus* de hoja grande y caduca que se desarrolla en un clima de tipo mediterráneo y que presenta la distribución más septentrional del género en América (Ormazábal y Benoit, 1987; Ramírez, 1987; Polyméris, 1993).

La especie fue considerada por muchos años como un variedad de *Nothofagus obliqua* y se le dio el rango de especie a finales del siglo XX (Vásquez y Rodríguez, 1999; Gajardo, 2001).

Las formaciones vegetacionales de *N. macrocarpa* son extremadamente frágiles y dependen en gran medida de la capacidad reguladora interna que tiene el bosque en la estación desfavorable. La regresión de estos bosques es acelerada, principalmente por la mortalidad de los árboles, falta de regeneración natural y por el impacto directo de las actividades humanas (Gajardo, 2001).

#### **2.3.1 Distribución y hábitat**

Latitudinalmente, la especie abarca aproximadamente 160 kilómetros, entre el cerro Campanita en la Provincia de Valparaíso, V Región de Valparaíso y hasta las cercanías de Pichilemu en la Provincia de Rancagua, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, por la Cordillera de la Costa, y en forma discontinua por la Cordillera de los Andes, desde San Fernando, en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta Vilches en la VII Región del Maule (Ormazábal y Benoit, 1987; Polyméris, 1993).

En ambas cordilleras se desarrolla en un rango altitudinal que va desde los 800 a los 2.200 m.s.n.m (García y Ormazábal, 2008).

Actualmente se encuentra en pequeñas poblaciones aisladas en los cerros El Roble y La Campana, Altos de Chicauma, Altos de Cantillana, cerros de Hueque, Talamí, Loncha, cerro Pangalillo y en sierras de Bellavista (Gajardo, 2001), así como también en 17 parches fragmentados en la zona alta de la Cuesta La Dormida (Gonzaloren, 2003), gracias a compensaciones climáticas y desarrollándose bajo condiciones ecológicas particulares, como en laderas con exposición sur y protegida por los efectos de la altitud (Villaseñor, 1980; Gajardo, 2001; Elórtegui y Moreira-Muñoz, 2002).

Roble de Santiago corresponde a un endemismo restringido y rara vez se la encuentra formando bosques puros, asociándose principalmente a otras especies esclerófilas (Ormazábal y Benoit, 1987), salvo en algunas localidades sobre los 800 m de altitud (Cabello *et al.*, 2002; Elórtegui y Moreira-Muñoz, 2002).

### **2.3.2 Características morfológicas y fenológicas**

*N. macrocarpa* corresponde a un árbol monoico de tipo caducifolio, de unos 4 a 10 metros de altura, de tronco robusto y corteza pardogrisácea, rugosa y con grietas longitudinales y transversales. La copa se presenta densamente ramosa y hojosa, de 3-5 m de amplitud, con ramas jóvenes pardas, pubescentes, de 1,8 a 2 mm de grosor (Ravenna, 2002).

Cabello *et al.* (2002) y Ravenna (2002), indican que presenta hojas alternas, irregularmente aserradas, aovadas-oblongas y densamente pubescente-glandulosas. Los pecíolos son pubescentes de 4-0,8 mm de largo y la forma de la lámina foliar es oval-oblonga y en forma menos frecuente se presenta ovalada, de 13-45 mm de largo y 7-23 mm de ancho, de textura delgada, verde brillante, ondulada hacia los lados, pegajosas por la secreción de glándulas punctiformes oscuras en la cara adaxial y pinnati-nervadas. Cada nervio lateral termina en el ápice de un lóbulo, cada uno de éstos presenta de 3 a 6 dentículas; algunas veces uno o dos de los nervios laterales inferiores se ramifica en unos pocos nervios terciarios solamente en el lado inferior y el nervio principal es moderadamente pubescente.

Las flores son unisexuales, inconspicuas y apétalas. Las masculinas son solitarias y cortamente pedunculadas de aproximadamente 1,6 mm de largo, con pelos esparcidos en la cara abaxial (Ravenna, 2002). Las femeninas se agrupan en inflorescencias trifloras (Cabello *et al.*, 2002) de 9 a 12 mm de diámetro, formado por cuatro brácteas sub-leñosas. En el interior es posible apreciar tres cicatrices correspondientes a tres núculas.

El fruto es similar a una nuez y las semillas se disponen de a tres sobre una cúpula con cuatro valvas, de las cuales dos son trígonas y una es aplanada, de color café claro, valvas y nuez de mayor tamaño que las de *N. obliqua*, principal diferencia morfológica entre las especies (Ormazábal y Benoit, 1987).

La floración se produce entre septiembre y noviembre (Cabello *et al.*, 2002; Elórtegui y Moreira-Muñoz, 2002).

### 2.3.3 Estado de conservación

A pesar de que *N. macrocarpa* es una especie relictiva y a que diferentes autores concuerdan que la especie presenta problemas de conservación, no posee un estatus legal para su protección (CONAMA, 2009), por lo que se considera imprescindible realizar las acciones pertinentes para otorgarle a esta especie alguna clase de resguardo.

Benoit en el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (CONAF, 1989), la propuso como especie En Peligro y Vulnerable para la V Región de Valparaíso y la Región Metropolitana de Santiago. Gajardo (2001), sostiene que si se considerara el estado actual de las formaciones, su categoría de conservación correspondería probablemente a En Peligro, mientras que Hechenleitner *et al.* (2005), señalan que se requieren de clarificaciones adicionales antes de realizar cualquier tipo de evaluación sobre su estado de conservación.

La condición actual de los bosques de roble de Santiago tanto en el Santuario como en las áreas adyacentes a él, indican que se encuentran sometidos a una acelerada regresión, dada principalmente por la falta de regeneración natural por semilla y la presión de las acciones humanas directas e indirectas, situación corroborada por diferentes autores que han estudiado el estado actual de la especie en el área de estudio y en zonas aledañas (Gajardo, 2001; Gonzalorenna, 2003; Luebert y Plissock, 2006; Donoso, 2007).

La mayor parte de los bosques ubicados en este piso vegetacional presentan regeneración de monte bajo, donde gran proporción de los individuos no ha alcanzado la madurez reproductiva (Luebert y Plissock, 2006). Estos renovales constituyen un mosaico de unidades vegetacionales pequeñas, producto de las variaciones de sitio y de las intervenciones humanas (Donoso, 2007).

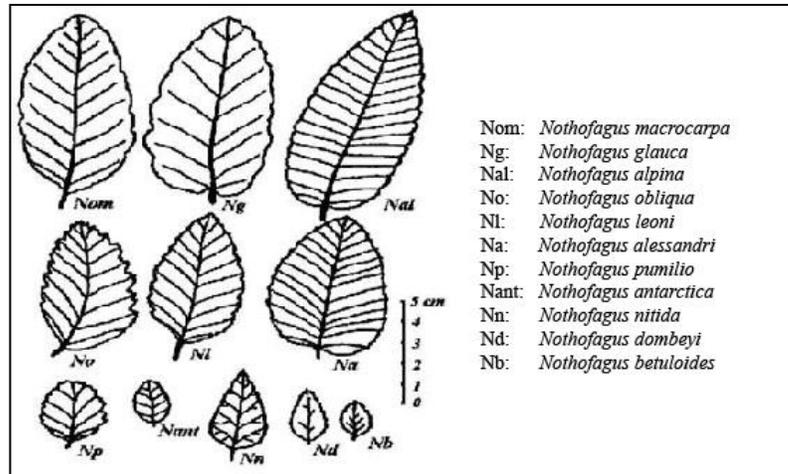
### 2.4 Área foliar y diferencias morfológicas de los *Nothofagus*

La altura de las plantas y el área foliar, son parte de los rasgos más importantes que determinan la fuerza de las interacciones entre plantas, ya que afectan la cantidad de luz interceptada por ellas, tanto así como la cantidad y calidad de luz que está disponible para las plantas vecinas (Pronk, 2004).

La intensidad de la luz disminuye desde la copa del bosque hasta el suelo, debido en parte a la absorción de las ramas y hojas de los árboles del estrato superior, dejando entre el 1 y 10% de luz para la regeneración que yace más abajo (Whittaker, 1975).

Según Nowak (1996), las mediciones del área foliar y la biomasa foliar de los árboles son importantes prerrequisitos para el estudio de procesos de intercambios gaseosos y el modelamiento de ecosistemas.

Diferentes estudios morfológicos se han realizado en las especies sudamericanas del género *Nothofagus*, que presenta variados y extensos rangos de distribución. Ramírez (1987), comparó las características morfológicas de ocho taxas (Figura 1).



Fuente: Ramírez, 1987

Figura 1: Diferencias morfológicas entre las hojas de los *Nothofagus* presentes en Chile.

## 2.5 Antecedentes generales de biomasa

### 2.5.1 Definición y aplicación en ecosistemas forestales

La biomasa forestal se define como la cantidad total de materia viva presente en un sistema biológico en un momento dado y se expresa generalmente como unidades de peso seco o verde por unidad de superficie como  $\text{g/m}^2$ ,  $\text{kg/m}^2$  o  $\text{t/ha}$  (Newbould, 1967; Whittaker, 1975; Schlegel *et al.*, 2000).

Frecuentemente se la clasifica de acuerdo a componentes. Los más comunes corresponden a fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, flores y frutos.

La biomasa puede estimarse directamente a través del peso seco de los componentes o indirectamente mediante la medición de volumen y la densidad de ellos. Uno de los componentes que presenta menor variación es la biomasa foliar, debido a que no se incrementa necesariamente con el crecimiento del rodal. La contribución porcentual de los componentes varía según especie, edad, sitio y las intervenciones a las que se somete el bosque (Pardé, 1980).

La importancia de la determinación de la biomasa en ecosistemas forestales es amplia. Se utiliza principalmente para conocer los flujos por comparación de stocks de carbono en el tiempo y el carbono almacenado en los ecosistemas forestales, uno de los medios para mitigar los efectos del cambio climático (Schlegel *et al.*, 2000), para estimar las cantidades potenciales de variados productos y combustibles, en la determinación de la eficiencia del rodal, en las relaciones suelo-agua-planta y nutrientes con la productividad del sitio. El establecimiento de las relaciones entre la biomasa y las fases de crecimiento del bosque, permiten conocer el funcionamiento del mismo, su estructura y potencial de crecimiento (Anderson, 1971; Chuyenda y Kisak, 1984; Gayoso *et al.*, 2002).

Whittaker (1975) en estudios de productividad primaria neta y biomasa de plantas en el mundo, determinó rangos medios de biomasa para diferentes tipos de bosque y especies. Los bosques caducifolios oscilan entre 60 y 600 t/ha de materia orgánica total; bosques lluviosos entre 60 y 800 t/ha; bosques templados siempreverdes entre 60 a 2.000 t/ha, bosques boreales entre 60 y 400 t/ha y, bosque y matorral entre 20 y 200 t/ha. Mientras que Caldentey (1990), reporta rangos para valores de biomasa aérea en ecosistemas mediterráneos sometidos a diferentes intensidades de influencia humana entre 0,2 y 160 t/ha.

### **2.5.2 Métodos de estimación de biomasa vegetal**

La obtención de la biomasa vegetal acumulada en un árbol completo o en sus componentes, basándose en la destrucción completa del individuo, resulta ser un proceso lento y costoso (Crow, 1978), pudiendo ser aplicado en forma simple y confiable en estudios de plantas anuales, pastizales naturales y en plantaciones forestales coetáneas (Whittaker, 1975).

Por este motivo se han desarrollado variadas formas y métodos para la estimación de la biomasa.

Uno sencillo pero de menor confiabilidad, corresponde a una estimación a partir de funciones de volumen de fustes, a las cuales se le asocia la densidad básica de la madera o la utilización de funciones de biomasa asociadas a tablas de rodal que entregan directamente el peso seco. Sin embargo en Chile y especialmente para especies nativas, estas funciones han sido poco desarrolladas, con un muestreo reducido e insuficiente información de las condiciones y variables de estado (Gayoso *et al.*, 2002).

Otros métodos de estimación muy utilizados, corresponden al método del árbol medio y el método regresional (Bown, 1992).

El método del árbol medio se basa en la selección del árbol que tiene dimensiones medias representativas del rodal y al que se le calcula la biomasa (Garfias, 1994). Sobre este cálculo se obtiene la biomasa total acumulada en una superficie, como el producto del número de árboles por la biomasa del árbol medio. Aunque es un buen método, presenta la desventaja de que no hay base para testear si las dimensiones de los árboles promedio corresponden a los pesos promedio de los árboles del rodal (Madgwick, 1970).

En el método regresional o alométrico, se muestrea un número de árboles representativos de las diferentes clases de diámetro a la altura del pecho (DAP) u otra variable del rodal, a los que se les realiza un análisis detallado para determinar el peso seco de las fracciones o componentes (Bown, 1992). Una vez que las muestras del rodal han sido obtenidas, estas deben ser secadas y pesadas, para que luego los resultados obtenidos sean proyectados sobre los árboles volteados (Teller, 1988).

Posteriormente se aplican regresiones logarítmicas para el peso de la copa, DAP u otra variable de importancia, a fin de estimar los pesos secos de los componentes estudiados en los árboles remanentes del rodal (Whittaker, 1975; Madgwick, 1970; Magni, 1995).

Luego y sobre la base de los individuos cosechados, se determinan funciones empíricas para estimar la biomasa total como la suma de las biomásas individuales (Teller, 1988).

Dependiendo de la variabilidad de los bosques, precisión, especies y recursos disponibles, se utilizan diferentes números de árboles muestra. Normalmente varían entre 20 y 40 árboles, eligiéndose alrededor de 5 por parcela. Para zonas amplias, se eligen cerca de 30 árboles, pero si se requiere determinar la biomasa en localidades específicas, 15 árboles es un número suficiente (Schlegel *et al.*, 2000).

En el caso de los *Nothofagus* chilenos se han efectuados diferentes estudios de biomasa de los componentes del árbol, utilizando en su mayoría el método alométrico, determinando la biomasa acumulada en el bosque.

Estos estudios se han basado en la medición de un número de individuos entre 15 y 42 árboles, utilizando modelos simples de regresión (Gayoso *et al.*, 2002).

### 2.5.3 Funciones de biomasa

Los modelos de biomasa más utilizados emplean variables dependientes combinadas o transformadas, mediante logaritmo natural (Ln).

Según Prado *et al.*, (1988), los modelos corresponden al tipo lineal, exponencial y potencial.

Modelo Lineal: 
$$y = a + b_i * x_i$$

Modelo Exponencial: 
$$y = a * e^{bx}$$

Modelo Potencial: 
$$y = a * x_i^{bi}$$

Los valores de las constantes de las ecuaciones logarítmicas para cualquier especie son dependientes de la competencia dentro del rodal. Así, las ecuaciones que relacionan el logaritmo del peso de la copa y el logaritmo del diámetro, basado en una muestra de árboles desde una variedad de rodales, pueden ser imprecisas a menos que también se incluyan algunas medidas de la competencia (Madgwick, 1970).

Los análisis de regresión son a menudo usados para estimar la biomasa de árboles como función de las dimensiones del árbol, pero muchas regresiones son desarrolladas para sitios y especies específicas (Crown, 1979).

### 3.0 MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Ubicación geográfica y superficie del área de estudio

El Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble ( $32^{\circ} 58' S - 71^{\circ} 01' O$ ), se encuentra emplazado en el cordón montañoso de la Cordillera de la Costa en la Región Metropolitana de Santiago, Comuna de Til Til y posee una superficie de 996,1 hectáreas (Espinosa *et al.*, 2002) (Figura 2).

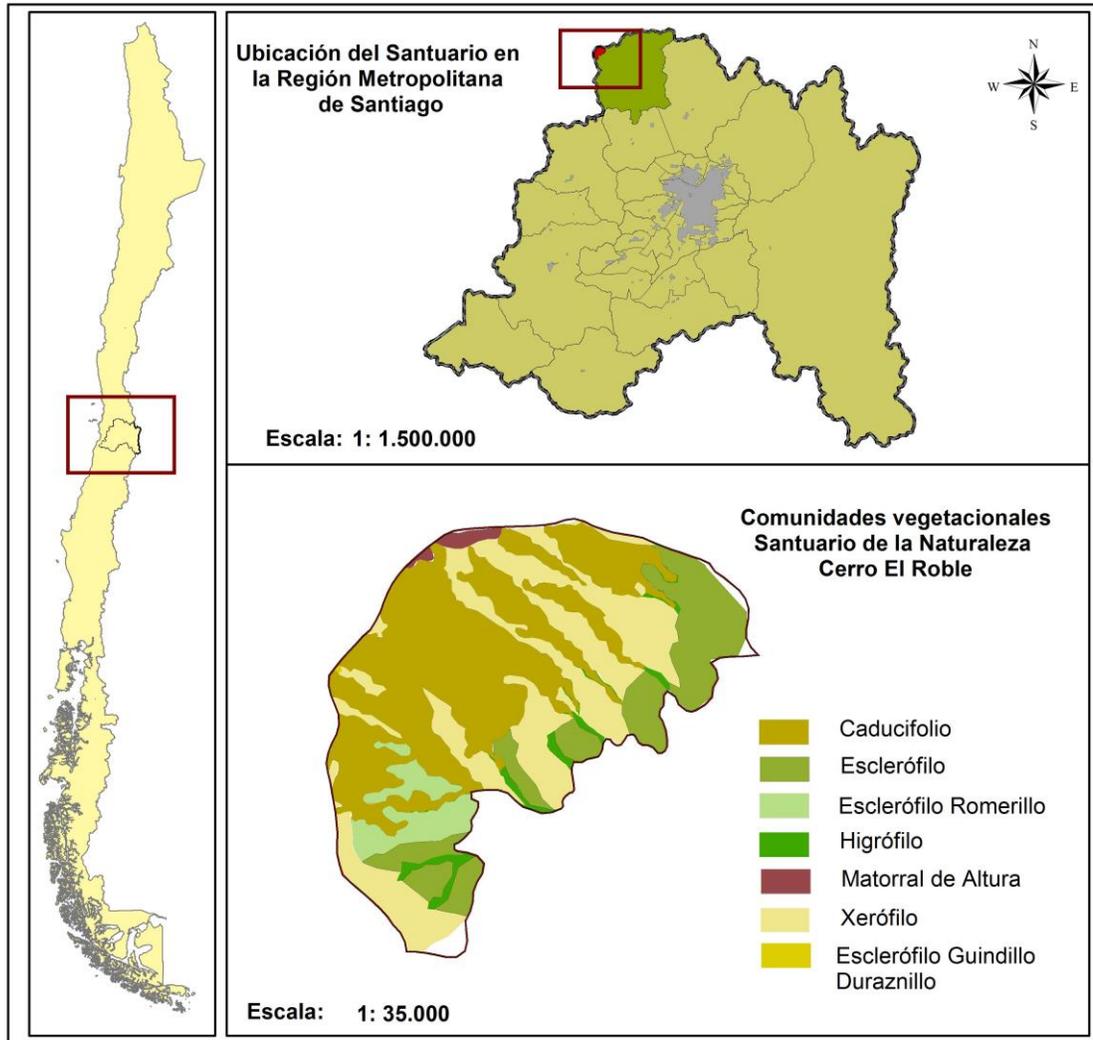


Figura 2: Plano de ubicación del Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble

Esta zona constituye un área protegida por el Decreto Exento N° 229 del Ministerio de Educación del 27 de Junio del año 2000 y se encuentra a 75 km al noroeste de Santiago.

### 3.1.2 Características ambientales

#### 3.1.2.1 Clima

Según el sistema de clasificación de Köppen el área de estudio se clasifica como templada mediterránea y de acuerdo a Di Castri y Hajek (1976), correspondería a la región mediterránea subhúmeda.

Santibáñez y Uribe (1993), describen específicamente el clima de cerro El Roble como templado mesotermal inferior estenotérmico mediterráneo semiárido. El régimen térmico se caracteriza por temperaturas del aire que varían entre una máxima en enero de 26,9°C y una mínima en julio de 4,1°C. El período libre de heladas es de 206 días, con un promedio de 13 heladas por año. El régimen hídrico observa una precipitación media anual de 656 mm, un déficit hídrico de 897 mm y un periodo seco de 7 meses.

El sector presenta buena ventilación y cumple una función de regulación climática e inmisión de contaminantes (GORE – RM, 2001).

#### 3.1.2.2 Geomorfología e hidrografía

El cerro El Roble se encuentra en la cordillera de la Costa y está ubicado en el batolito costero, alcanzando una de las mayores alturas de esta cordillera, llegando a los 2.200 m.s.n.m (Manríquez, 2002).

Los suelos del Santuario son principalmente de origen granítico, aunque secundariamente se encuentran formados por rocas volcánicas y sedimentarias marinas. Los tres principales tipos de roca ígneas que se encuentran en el sector son: granito, granodiorita y diorita (Espinosa *et al.*, 2002).

Dada la presencia de cerros de fuertes pendientes, mayores a 30°, presenta suelos altamente susceptibles a la erosión hídrica, dominando las clases de uso VI a VIII. La degradación que actualmente existe, repercute en la función reguladora hídrica a nivel de microcuencas (GORE – RM, 2001).

En cuanto a la hidrografía, el sector está dominado por varias quebradas tales como quebrada El Chape, quebrada La Francesa, quebrada Los Quilos, quebrada Portezuelo, quebrada Puchuncaví, quebrada Ramaditas, quebrada Unión Capilla de Caleu, las que alimentan al estero Caleu (Espinosa *et al.*, 2002).

#### 3.1.2.3 Flora y fauna

La vegetación propia del Santuario, corresponde a las regiones del Bosque Caducifolio, sub-región del bosque Caducifolio Montano, específicamente Bosque Caducifolio de Santiago y, del Matorral y del Bosque Esclerófilo, sub-región del Bosque Esclerófilo, Matorral Esclerófilo Andino (Gajardo, 1994), correspondientes al piso vegetal denominado Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero de *Nothofagus macrocarpa* y *Ribes punctatum* (Luebert y Plissock, 2006).

Las unidades vegetacionales identificadas por Espinosa *et al.*, (2002), son bosque laurifolio de canelo chequén, bosque esclerófilo quillay litre, matorral esclerófilo de romerillo, matorral esclerófilo de duraznillo guindillo, matorral espinoso de chagualillo, bosque caducifolio de roble y matorral de altura de neneo.

En cuanto a la estratificación de la vegetación presente, Donoso (2007) encontró 208 unidades homogéneas de vegetación, correspondientes a una superficie total de 1.061,8 ha. Las principales formaciones descritas correspondieron a formaciones *leñosas altas*, formaciones *leñosas altas-leñosas bajas* y *leñosas bajas*, correspondientes al 49,1%, 18,9% y 16,7% del total de la superficie en hectáreas, respectivamente.

En orden de importancia las principales clases de formación corresponde al *Bosque cerrado* que abarca 554,7 ha, *Matorral* con 3.290 ha, *Bosque abierto* con 16,6% y *Matorral Bajo* de 0,1% de la superficie (Donoso, 2007).

Las principales especies vegetales presentes en cerro El Roble son *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, *Peumus boldus*, *Maytenus boaria*, *N. macrocarpa*, *Puya* sp. y cactáceas (Riedemann y Aldunate, 2000).

Los bosques relictos presentes son albergue y fuente de alimento de especies amenazadas y poco comunes para la Región Metropolitana, como el comesebo grande (*Pygarrhichas albogularis*), rayadito (*Aphrastura spinicauda*), aguilucho de cola rojiza (*Buteo ventrales*), peuquito (*Accipiter bicolor*), güiña (*Felis guiña*), puma (*Puma concolo*) y en general variadas especies de anfibios y reptiles. Tal es el caso del lagarto gruñidor de álvaro (*Pristidactylus alvaroi*), que habita exclusivamente en este sistema natural (GORE–RM, 2001; UNORCH, 2006).

## **3.2 Método**

### **3.2.1 Selección de sitios y árboles muestra**

En terreno se identificaron tres sectores, en los que la estructura del bosque correspondió a un bosque secundario o renoval y con una cobertura arbórea superior al 70%.

En estas áreas, ubicadas en exposición suroeste, altitud entre los 1.600 a 1.800 m.s.n.m y pendiente entre 50-80%, se establecieron nueve parcelas de aproximadamente 0,05 hectáreas, donde se realizó un inventario y a partir del cual se generaron tablas de rodal. Según la dispersión diamétrica de los individuos presentes y en forma aleatoria, se seleccionaron los vástagos a cosechar para la realización de este estudio.

### 3.2.2 Métodos de muestreo de biomasa y clasificación de componentes

El método de estimación de la biomasa correspondió al método regresional o alométrico. Para ello se cosecharon 63 vástagos, 30 de ellos en invierno y 33 en verano.

Una vez seleccionados e identificados los vástagos, se midieron sus diámetros a la altura del pecho (DAP) y tras ser cosechados, su altura total (H), altura de tocón (Ht) y el crecimiento en altura de la ramilla principal de la copa para los últimos tres años.

Para la obtención del peso seco, el vástago fue dividido en tres componentes:

**a) Hojas:** Comprendió la totalidad de las hojas de la copa. Este componente fue sólo evaluado para los individuos extraídos en verano.

**b) Ramas y Ramillas:** Incluyó ramas principales y secundarias, salvo aquellas de gran dimensión que pudieran ser consideradas como parte del componente fustal.

**c) Fustal:** Estuvo compuesto de rodela extraídas a intervalos regulares del fuste cada un metro a partir del tocón, incluyendo una rodela a la altura del DAP. Este mismo procedimiento se empleó para ramas de gran diámetro y tamaño. A las ramas grandes se les extrajeron rodela de sus extremos y se les midió el largo total para posteriormente obtener su volumen.

Todo el material fue cosechado y transportado en sacos rotulados por vástago al Centro de Semillas y Árboles Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile, dónde se procedió a su separación manual. Las muestras fueron almacenadas por componente en bolsas de papel (Figura 3).



Figura 3: Transporte, separación de componentes y almacenamiento

### 3.2.3 Determinación del área foliar y crecimiento en altura

A fin de conocer el área foliar de los vástagos, se extrajo en laboratorio una submuestra de 12 hojas representativas de los diferentes tamaños foliares de cada copa. Cada submuestra fue escaneada, como procedimiento indirecto de cálculo del área foliar, digitalizada mediante el uso del software Arcview GIS 3.2 y medida de acuerdo a una superficie de referencia conocida, utilizando el software Autocad 2007.

Se cuantificó en terreno el crecimiento en longitud de la ramilla principal de la copa (cm) a todos los vástagos cosechados mediante la el reconocimiento de cicatrices de crecimiento de la yema apical de los últimos tres años.

Los vástagos fueron clasificados en función de categorías de copas de Kraft (Donoso, 1995): árboles dominantes, árboles codominantes, árboles intermedios y árboles suprimidos y se relacionó el crecimiento en altura de cada una de ellas.

### **3.2.4 Edad y estado sanitario de los vástagos**

Las rodelas basales de los vástagos cosechados fueron lijadas y pulidas, procediéndose al conteo manual de los anillos y se determinaron las edades de los vástagos extraídos.

Para conocer el estado sanitario de los árboles se revisó el estado de la copa y de las rodelas del fuste, mediante la inspección visual, estableciéndose presencia o ausencia de daño.

### **3.2.5 Obtención de pesos secos**

En la determinación de los componentes biomasa total y biomasa foliar, se consideraron exclusivamente los datos de los componentes correspondientes a los individuos extraídos en verano (29 vástagos).

Para la determinación de la biomasa de ramas y biomasa fustal, se consideró la totalidad de los datos obtenidos en terreno durante la cosecha de los árboles muestra seleccionados (57 vástagos).

#### **3.2.5.1 Determinación del peso seco de hojas y ramas**

Con el fin de obtener la biomasa foliar y de ramas, las bolsas de papel rotuladas, fueron secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65° C hasta la obtención de peso constante. Una vez alcanzado este valor, se obtuvieron los respectivos pesos secos para cada componente por vástago.

#### **3.2.5.2 Determinación del peso seco del fuste**

La biomasa fustal puede determinarse en forma indirecta a través de la obtención de la densidad básica de la madera, ya que ésta permite transformar volúmenes húmedos en biomasa seca, lo que resulta de mayor utilidad debido a que por lo general es más fácil conocer el volumen fustal que el peso seco del mismo.

Los pesos secos de los fustes fueron obtenidos mediante la proyección de la densidad de la madera, al volumen total de la troza.

### 3.2.5.2.1 Cálculo de la densidad básica de la madera

De las rodela, previamente sumergidas en agua por 72 horas, se extrajeron probetas o piezas de madera de forma rectangular de aproximadamente 2x1cm, tanto del xilema como de la corteza para cada rodela, las que fueron rotuladas y sumergidas en agua hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra.

Se obtuvo el peso del volumen de cada pieza, como la diferencia en peso producida por el desplazamiento de agua y el incremento de volumen de agua, utilizando el método de inmersión en agua o Principio de Arquímedes. Posteriormente, las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado por 24 horas a 105° C, obteniéndose el peso seco de las mismas.

La densidad básica de cada rodela, para muestras de corteza y xilema, fue obtenida mediante la utilización de la ecuación:

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Masa anhidra (g)}}{\text{Volumen verde (cm}^3\text{)}}$$

Esto permitió determinar la densidad de cada probeta y la densidad promedio de cada troza. Las secciones consideradas correspondieron a aquellas en las que fue fraccionado el vástago, desde la altura de tocón y cada un metro, hasta la altura de corte o inicio de la copa.

En algunos casos la longitud del segmento de corte entre las rodela varió según particularidades propias de crecimiento del fuste de cada vástago, como inserción de ramas, alturas intermedias entre los metros de corte previstos, árboles de baja altura, etc. En estos casos se consideró la altura de corte alternativa para el cálculo del volumen de la sección entre rodela.

### 3.2.5.2.2 Biomasa fustal

Para determinar el volumen de cada sección del fuste, tanto para la corteza como xilema, se utilizó la ecuación de Smalian (Prodan *et al.*, 1997).

$$V = I * \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d1^2 + d2^2}{2}\right)$$

Donde,  $V = \text{volumen}$

$I = \text{longitud de la troza}$

$d1 = \text{diámetro mayor de la troza}$

$d2 = \text{diámetro menor de la troza}$

Se utilizaron los diámetros y el espesor medio de cada rodela del fuste, seccionado cada un metro y a partir de la altura del tocón.

La multiplicación del volumen y la densidad promedio de cada sección del fuste, permitió obtener la biomasa del fuste como la sumatoria de los pesos secos de cada sección y para cada vástago.

### 3.2.5.3 Peso seco total y estimación de biomasa de individuos

El peso seco total del vástago correspondió a la sumatoria de los pesos secos de todos los componentes aéreos del árbol muestra correspondiente: fuste, ramillas y ramas, y hojas.

Con los pesos secos de los componentes y los pesos secos totales por vástago, se ajustaron diferentes funciones matemáticas, considerando como variable dependiente la biomasa aérea total y por componente, y como variables independientes el DAP y H. Para el procesamiento de la información y la determinación de las funciones, se utilizó el programa computacional Statgraphics Plus 5.1.

### 3.2.6 Jerarquización de variables y desarrollo de modelos

Con el objetivo de determinar las variables que describieron mejor el comportamiento de la biomasa, se correlacionó cada variable descriptiva medida en terreno con respecto a los pesos secos correspondientes.

Los modelos utilizados en el ajuste de las funciones de biomasa fueron los modelos lineal, potencial y exponencial. Los dos últimos modelos y sus respectivas variables fueron linealizados para permitir la realización del método de regresión paso a paso (Step-Wise).

Para la selección del mejor modelo se consideró el mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el menor error de estimación ( $S_{xy}$ ) y la distribución de los residuos. Posteriormente, el modelo seleccionado fue validado con una muestra independiente correspondiente al 10% de la muestra y con la Prueba F para varianzas de dos muestras.

### 3.2.7 Estimación de la producción y productividad en biomasa

Con los pesos secos obtenidos, se desarrollaron modelos de estimación entre los componentes mejor correlacionados y cada componente de individuo, incluyendo la biomasa aérea total, como la sumatoria de todos los componentes.

La relación entre el peso seco y la edad de cada vástago, permitió obtener la productividad media anual por individuo (g/año).

## 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Descripción de los sectores y del rodal

La estructura de bosque corresponde a una de tipo secundario, presentando una cobertura vegetal mayor al 70%.

Las tablas de rodal indican que el bosque presenta un área basal de 11,27 m<sup>2</sup>/ha y el número de vástagos supera los 1.500 (Cuadro 1).

Cuadro 1: Tabla general de rodal de un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa* en el sector de cerro El Roble.

Clase DAP (cm)	Nº Vástagos/ha	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)
0 - 3	72	0,01
3 - 6	310	0,49
6 - 9	475	2,1
9 - 12	452	3,91
12 - 15	210	3,01
15 - 18	68	1,45
18 - 21	7	0,21
21 - 24	2	0,08
<b>Total</b>	<b>1.596</b>	<b>11,27</b>

Los vástagos cosechados para el estudio, son en su mayoría de pequeño tamaño, con diámetros a la altura del pecho que varían entre 1,3 cm a 17,9 cm, con una media de 8,4 cm y altura promedio de 7,8 m. La edad promedio es de 42 años, con valores entre 10 a 73 años de edad, presentando una estructura de edades irregular incluso dentro de una misma cepa. El promedio de vástagos vivos por cepa es de tres.

Fierro (1998), señala que en estudios realizados en renovales puros de roble, ubicados en el sector de Radal Siete Tazas en la VII Región del Maule, se encontraron áreas basales de 18,6 m<sup>2</sup>/ha, para rodales de 1.890 árboles/ha, diámetros y alturas promedios de 10,57 cm y 13,48, respectivamente. Mientras que Sáez (1991), reporta valores de área basal menores de 8,9 m<sup>2</sup>/ha para rodales de Roble-Raulí ubicados en el sector de Collipulli, IX Región, con diámetros y altura promedio de 18,7 cm y 15,6 m, respectivamente.

En los bosques del Parque Nacional Mutitz en Serrahn, Noreste de Alemania, dónde existe algún tipo de influencia antrópica, se reportaron áreas basales de 29 y 0,6 m<sup>2</sup>/ha para *Fagus sylvatica* y *Quercus petraea*, respectivamente (Oheimb *et al.*, 2005).

Los valores de área basal del rodal, son en general inferiores a los reportados en la literatura para especies del género y otras Fagáceas ubicadas en el hemisferio norte. Sin embargo, las condiciones de sitio de los sectores estudiados por otros autores son sustancialmente diferentes a los presentes en el Santuario, factores que influyen directamente en el crecimiento de la especie.

A pesar de este bajo crecimiento, la mayoría de los vástagos presentan una buena condición sanitaria, factor que no estaría influyendo en el estado actual del rodal en estudio. Respecto al estado de los fustes, el 6% de los vástagos cosechados en verano presenta algún tipo de daño mecánico, principalmente árboles de diámetro menor a los 5 cm, mientras que el 15% de los vástagos entre 35 y 72 años de edad, evidencian algún tipo de pudrición central en alguna de las rodelas del fuste.

En cuanto a la condición del follaje, no es posible determinar daño foliar, ni se presentan signos de defoliación en la copa a diferencia de lo reportado por Donoso (2007).

#### 4.2 Determinación del área foliar y crecimiento en altura

En forma general, el comportamiento del área foliar está relacionada con el diámetro a la altura del pecho de los vástagos cosechados.

Los árboles con mayor diámetro de copa presentan una mayor superficie de área foliar, salvo cepas con un gran número de vástagos, diámetros de copas reducidos y dónde puede inferirse que la competencia por luz entre los mismos individuos de la cepa afectó esta relación (Figura 4).

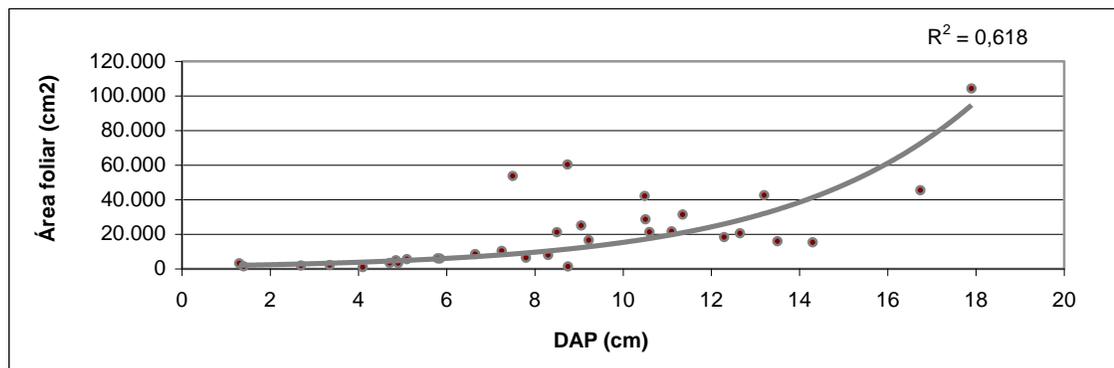


Figura 4: Relación entre el área foliar y el DAP en vástagos de *N. macrocarpa*.

Respecto al crecimiento en altura, los vástagos con copas más desarrolladas, iluminadas y cepas con menor número de vástagos presentan mayores crecimientos en longitud de la ramilla principal de la copa.

Los árboles dominantes y codominantes muestran un mayor crecimiento que los individuos intermedios y suprimidos del rodal (Cuadro 2). El diámetro y la altura están estrechamente correlacionadas con la acumulación de crecimiento en forma biomasa de los individuos, tal como se puede apreciar en la matriz de correlación de variables presentada en este estudio (Cuadro 3).

Cuadro 2: Crecimiento en longitud de la ramilla principal de la copa en vástagos de *Nothofagus macrocarpa*.

Clase de DAP (cm)	Frecuencia	Clasificación de Kraft	Crecimiento medio (cm)	Crecimiento medio (cm)
			Año 2005	Año 2006
1 - 6	19	Suprimidos	3,4	4,6
6 - 12	29	Intermedios	3,4	5,7
12 - 18	13	Dominantes y Codominantes	5,7	7,9

Los crecimientos son determinados para los períodos de crecimiento de los años 2005 y 2006, no considerándose el año 2007, ya que el la cosecha de los vástagos se efectuó antes de culminar todo el periodo de crecimiento. Sin embargo, los vástagos presentaron un buen desarrollo en altura a la fecha de cosecha.

#### 4.3 Determinación de la densidad básica de la madera

Se obtiene un total de 481 probetas provenientes del xilema y de la corteza del fuste, incluyendo algunas muestras de ramas de gran tamaño.

La densidad promedio de la madera fustal de *N. macrocarpa* obtenida es 0,46 Mg/m<sup>3</sup>, valor similar a lo reportado para *N. obliqua*, pero inferior a las encontradas para *N. dombeyi*, *N. alpina*, *N. nitida* que superan las 0,504 Mg/m<sup>3</sup> (Gayoso *et al.*, 2002). Esto se debe a la gran similitud entre roble de Santiago y roble común.

En términos generales la densidad de la madera del fuste dentro del árbol y a las diferentes alturas no varía considerablemente. Del mismo modo no es posible apreciar grandes cambios de la densidad según la edad del vástago en este estudio (Figura 5).

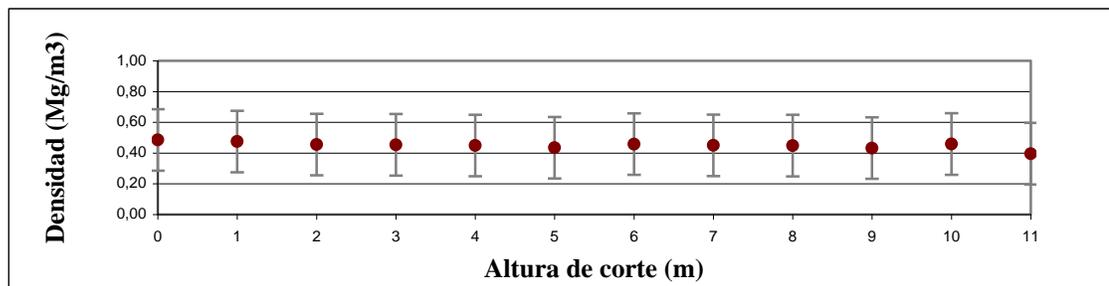


Figura 5: Variación de la densidad media de la madera ± error estándar a las diferentes alturas de corte de las rodajas del fuste.

## 4.4 Estimación de la producción de biomasa a nivel de componentes

### 4.4.1 Jerarquización y análisis de correlación de las variables

La matriz de correlación evidencia que la variable DAP es la variable que presenta mejor relación con las biomásas por componente y aérea total, mientras que la variable Edad resultó ser la que menos se relaciona (Cuadro 3).

Cuadro 3: Matriz de correlación para los vástagos cosechados

VARIABLE	Altura Total (m)	DAP (cm)	Edad (años)
Altura total (m)	1	0,83	0,66
DAP (cm)	-	1	0,75
Edad (años)	-	-	1
Biomasa aérea total	0,71	0,91	0,59
Biomasa foliar	0,63	0,88	0,53
Biomasa de ramas	0,52	0,79	0,53
Biomasa de fuste	0,72	0,86	0,58

### 4.4.2 Ajuste de modelos

Para la biomasa de hojas, biomasa de ramas y biomasa aérea total, el mejor modelo resulta ser uno exponencial, mientras que para la biomasa fustal se selecciona uno potencial. Para todos los casos se incluye como única variable independiente el DAP (Cuadro 4 y Figura 6).

Estos resultados concuerdan con las referencias de Crow (1978), quien sostiene que algunos indicadores de fácil medición tales como el DAP y la combinación DAP-Altura, son un método usado comúnmente para determinar el peso seco en análisis de regresión en muestreos destructivos de árboles.

Otros parámetros de la copa utilizados en las ecuaciones de regresión podrían ser mejores estimadores del área y biomasa foliar que las ecuaciones basadas exclusivamente en el DAP (Nowak, 1996), sin embargo, aunque pudieran presentar mejores coeficiente de determinación y menores errores cuadráticos, la aplicación de éstos en terreno suele ser difícil, sin que su aplicación logre modelos sustancialmente mejores. En este estudio H también fue probada en forma preliminar como variable independiente del modelo, sin obtener mejores parámetros estadísticos que aquellos que sólo incluyeron el DAP como variable exclusiva.

Algunos estudios eliminan los individuos de DAP menores a 5 cm (Crow, 1978; Magni, 1995), sin embargo dada la condición de degradación de los rodales de *N. macrocarpa* en el Santuario y a la gran cantidad de vástagos de diámetros inferiores a esta cifra, se consideraron todos los diámetros para los análisis de biomasa.

Los modelos matemáticos seleccionados se indican en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Modelos de estimación de biomasa aérea total y por componente para vástagos de *N. macrocarpa* desarrollados en el cerro El Roble.

Componente	Función	Función Linealizada	R <sup>2</sup> (%)	S <sub>yx</sub>
Hojas	$Y = \exp(-3,22512 + 0,249342 * X)$	$\ln Y = -3,2251 + 0,249342 * X$	77,219	0,530
Ramas	$Y = \exp(-2,23696 + 0,314029 * X)$	$\ln Y = -2,23696 + 0,314029 * X$	78,845	0,587
Fuste	$Y = 0,163712 * X^2 + 0,02364$	$\ln Y = -1,8096 + 2,02364 * \ln X$	96,050	0,222
Aérea Total	$Y = \exp(-0,0357551 + 0,296116 * X)$	$\ln Y = -0,0357551 + 0,296116 * X$	88,864	0,412

Y: peso seco del componente respectivo  
X: DAP del vástago (cm)

R<sup>2</sup>: Coeficiente de Determinación  
S<sub>yx</sub>: Error estándar de Estimación

Los valores de R<sup>2</sup> en general son altos e indican una buena correlación entre la variable seleccionada y el peso seco de los vástagos.

Para el componente fustal el modelo desarrollado corresponde a uno potencial, mientras que para el caso de ramas y ramillas, se seleccionó uno exponencial, en ambos casos se incluyen los vástagos cosechados en ambas temporadas.

Para la biomasa de hojas y biomasa aérea total, el modelo seleccionado corresponde a uno del tipo exponencial, que sólo incluye los vástagos cosechados en verano. Este modelo difiere de los potenciales desarrollados para biomasa aérea en *Nothofagus glauca* y *Nothofagus betuloides* por Gómez (1976) y Silva (1997), respectivamente.

Al igual que en otros estudios realizados, la función estimadora de biomasa foliar desarrollada presenta los peores parámetros estadísticos (Silva, 1997; Pardé 1980; Magni, 1995), ya que se obtiene el menor ajuste y un error de estimación comparativamente alto.

Al confrontar los modelos desarrollados con los datos reales obtenidos en terreno, éstos subestiman en un 2% para el componente hojas, en 5% la correspondiente al componente fuste y en el de ramas y ramillas, pero sobrestiman un 14% en la función desarrollada para biomasa aérea total.

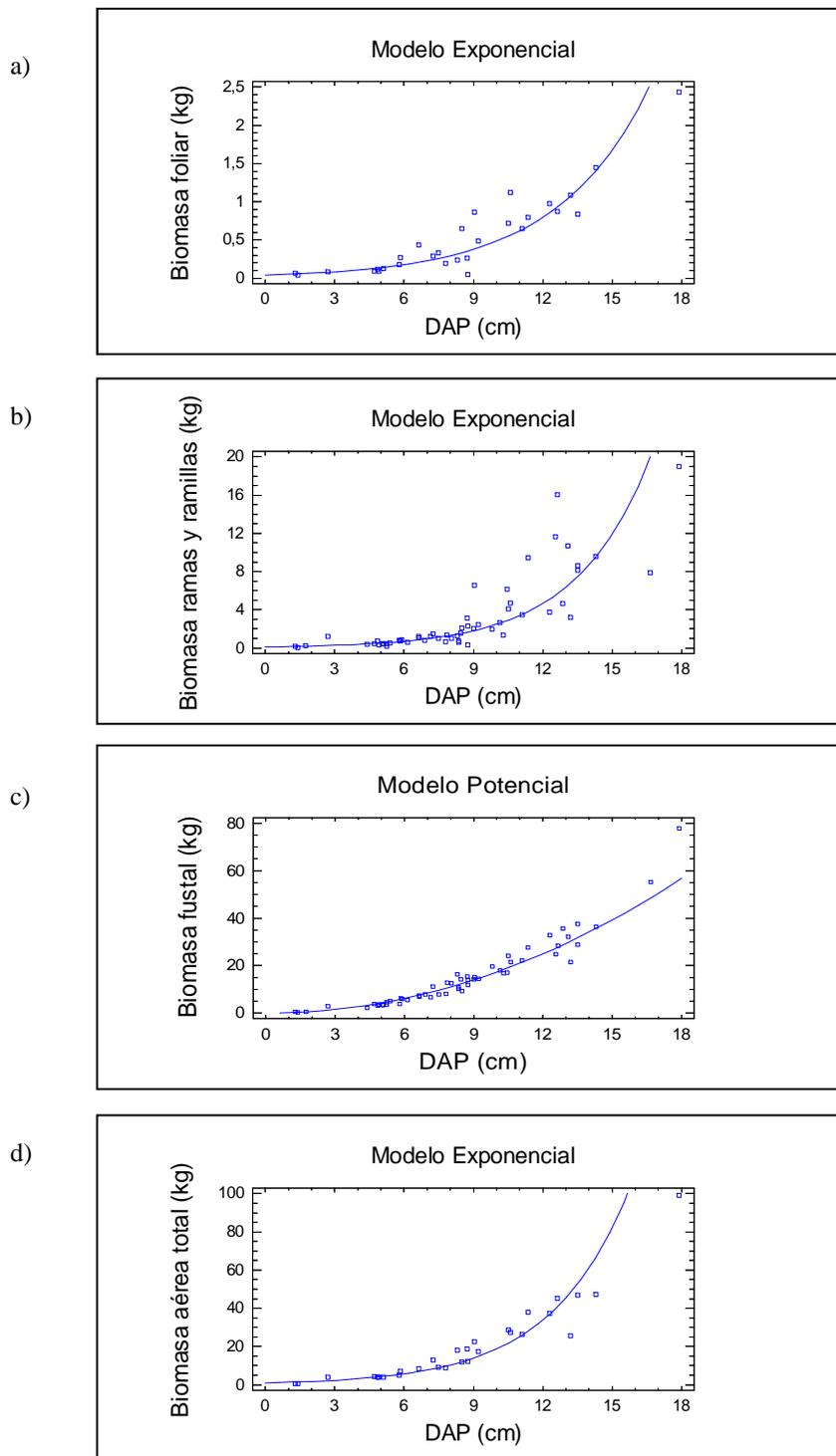


Figura 6: Modelos seleccionados para determinación de biomasa aérea total y por componente: a) Componentes hojas, b) Componentes ramas y ramillas, c) Componentes fustal d) Componentes biomasa aérea total.

#### **4.4.3 Análisis de residuos y validación de modelos seleccionados**

La biomasa de ramas y de hojas tiene una alta variabilidad asociada, por lo tanto, las relaciones de estimaciones para árboles individuales tiene un error muy sustancial debido a razones como la poda natural, forma y tipo de copa, entre otros (Crow, 1978).

Al igual que en lo obtenido por Prado y Aguirre (1987), la sumatoria de las funciones estimadoras de biomasa por componente de vástago no resulta igual a la estimación de la biomasa aérea total. Esto se debe a que se emplearon modelos diferentes para el cálculo del peso seco y las funciones seleccionadas no son aditivas.

En términos generales, los residuos se distribuyen en forma homogénea en ambos lados de la línea recta (Figura 7). Los modelos seleccionados presentan una leve subestimación especialmente para rangos de DAP entre 9 y 12 cm. Los residuos del componente hojas presentan mayor desviación comparado a los otros componentes, debido a que varía de año a año.

Para la validación de los modelos se utilizó una muestra de vástagos no utilizados en la construcción de los modelos: cuatro vástagos cosechados en verano y dos en invierno.

Según los análisis realizados, todos los modelos seleccionados se validaron correctamente, estableciéndose una relación entre los resultados de la estimación realizada por los diferentes modelos y los valores de biomasa de los seis árboles cosechados, apartados de los análisis para la validación de los modelos.

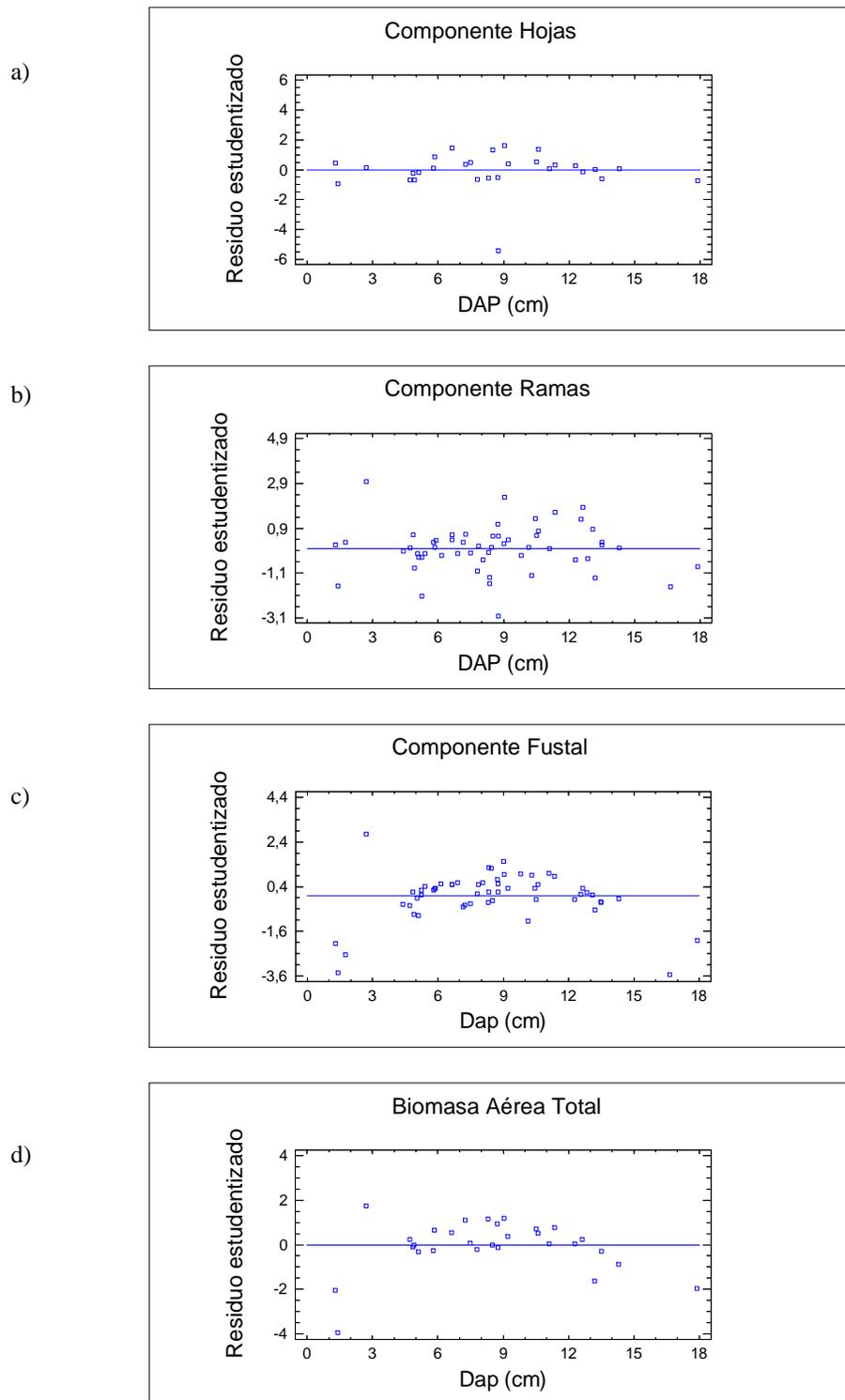


Figura 7: Dispersión de residuos de los modelos seleccionados: a) Componente Hojas, b) Componente Ramas y Ramillas, c) Componente Fustal, d) Componente Biomasa Aérea Total.

#### 4.4.4 Producción de biomasa aérea por componente y productividad media

En la zona de estudio, la distribución porcentual en biomasa por componente a nivel de árbol sigue un patrón similar. El componente foliar siempre presenta los menores valores de peso seco, seguido del componente biomasa de ramas y ramillas y, biomasa fustal (Figura 8 y Figura 9).

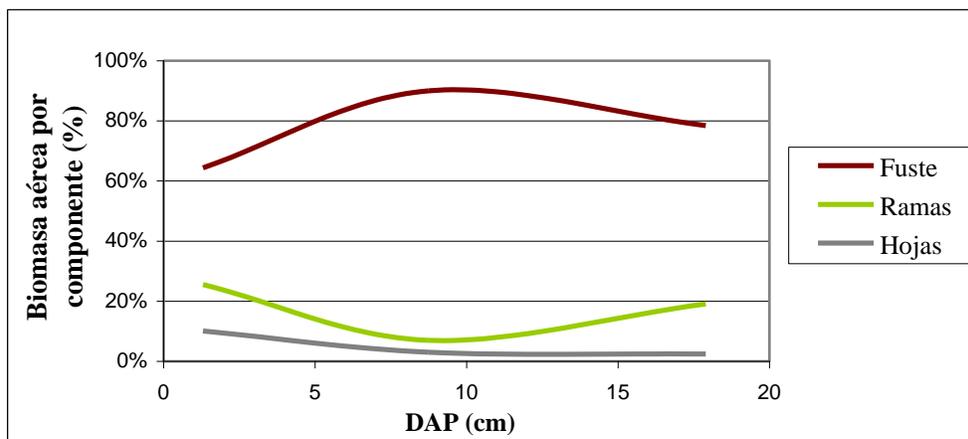


Figura 8: Distribución de la biomasa aérea total promedio por componente, según el DAP para los vástagos cosechados en verano.

En términos porcentuales el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea con valores que oscilan desde 62,6 a 96,9% con respecto a la biomasa total, valor levemente superior a los rangos promedios citados por Madgwick (1970), que fluctúan entre 55 y 77%, pero similares a los citados por Gayoso *et al.*, (2002) y Sáez (1991) para *Nothofagus obliqua*.

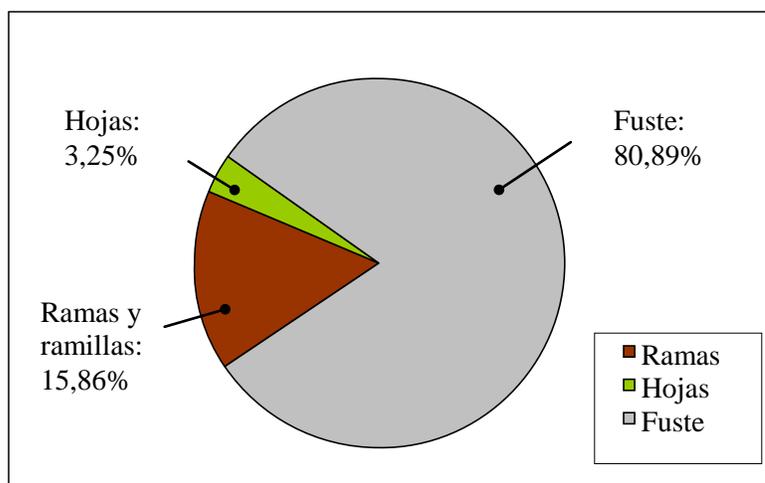


Figura 9: Distribución de la biomasa aérea promedio por componente en base al peso seco total para vástagos cosechados en verano.

Dentro del fuste la mayor proporción de biomasa la ocupa la biomasa xilemática, con valores de 82,1 a 93,9% de la biomasa fustal, mientras que la biomasa cortical sólo representa entre un 6,0 y 17,8%.

La biomasa de ramas y ramillas representa entre un 2,7-35,5% del total de la biomasa aérea total, valores similares a los promedios de 5-37% citados por Pardé (1980) o los presentados para otras especie del género *Nothofagus* (Gómez, 1976; Gayoso *et al.*, 2002).

La biomasa foliar presenta los menores valores con respecto a la biomasa aérea total. El promedio alcanza el 3,25% de la biomasa aérea total, con un rango que varía entre 0,4 y 10,1% (Figura 9). Estos valores son mayores a los reportados por Rodin y Bazilevich (1967), de 1,5-5% en bosques caducifolios de hoja ancha, pero similar al promedio de 2% encontrado por Pedrasa (1989), para Ruil en la VII Región del país.

La zona de estudio presenta características climáticas restrictivas, con períodos de sequía en verano, regímenes de lluvia mediterráneos y condiciones periódicas de estrés hídrico y térmico. Estos factores acompañados de una excesiva presión antrópica podrían estar condicionando la productividad de la especie.

En cuanto a la estructura del bosque, la mayoría de las cepas presentan alta densidad de vástagos, muchos de ellos con escaso desarrollo, debido probablemente a la competencia por luz y nutrientes al interior de la cepa, aunque se requieren estudios complementarios para determinar el efecto de la competencia entre vástagos dentro de un individuo.

En términos generales las biomásas por componente aumentan con la edad del rodal y el promedio de biomasa aérea total por vástago fue de 20,54 kg.

La productividad media anual estimada para la biomasa total de los vástagos en el área de estudio es 426 g/individuo/año, mientras que la productividad en biomasa leñosa, considerando ramas, ramillas y fuste es 374 g/individuo/año.

#### **4.5 Estimación de la producción de biomasa por hectárea**

En el Santuario las condiciones ambientales son restrictivas. El patrón de distribución de las especies obedece a las condiciones ambientales que en el área de estudio presentan un gradiente climático complejo.

El estrés hídrico podría ejercer una presión selectiva sobre el desarrollo de Roble de Santiago. Los eventos catastróficos en ciertas áreas pueden conducir a adaptaciones o estrategias adaptativas de las plantas frente a ellos, sobre todo cuando se repiten con cierta frecuencia (Stern y Roche, 1974 citado por Polýmeris 1993; White, 1979). Considerando que las floras mediterráneas presentan gran afectación frente a los cambios globales, estos efectos podrían estar afectando en forma acelerada a la especie.

La biomasa área total y por componente obtenidos se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Biomasa total y por componente según clase de DAP para *N. macrocarpa*.

Clase DAP (cm)	Biomasa foliar (Mg/ha)	Biomasa ramas (Mg/ha)	Biomasa fustal (Mg/ha)	Biomasa aérea total (Mg/ha)
0 – 3	0,004	0,01	0,03	0,11
3 – 6	0,038	0,14	1,07	1,13
6 – 9	0,123	0,54	4,59	4,22
9 – 12	0,246	1,31	8,63	9,77
12 – 15	0,242	1,56	6,66	11,04
15 – 18	0,165	1,29	3,24	8,69
18 – 21	0,036	0,34	0,47	2,17
21 – 24	0,022	0,25	0,18	1,51
Total	0,876	5,43	24,85	38,65

Silva (1997), al analizar la biomasa para *N. betuloides* reporta valores aproximados de biomasa aérea total de 216 Mg/ha, mientras que Valenzuela (1995), entrega un total de 421,76 Mg/ha para bosques maduros y sobremaduros de *Nothofagus pumilio*.

Pedrasa (1989), encontró valores promedio de 268,86 Mg/ha para bosques puros coetáneos de segundo crecimiento de *Nothofagus alessandri* en la Comuna de Empedrado, mientras que Gómez (1976) reporta promedios de 360,6 Mg/ha para *N. glauca* en la zona de Bullileo.

Valores de biomasa aérea reportada por Gómez (1976), en bosques multietáneos de *N. glauca* para la fase inicial del desarrollo natural del bosque, son superiores a las encontradas en el bosque estudiado, dónde la biomasa fustal alcanza las 58,6 Mg/ha, mientras que la de ramas 14,5 Mg/ha. Sin embargo, estos bosques no son de segundo crecimiento y presentan valores superiores de área basal, diámetros a la altura del pecho promedio e individuos por hectárea.

Los valores de biomasa aérea total por hectárea y productividad encontrados en el bosque estudiado difieren sustancialmente con respecto a otros estudios para diferentes especies del género *Nothofagus* reportados en la literatura y expuestos anteriormente. Los valores obtenidos demuestran que la biomasa aérea total del Santuario es del orden de cinco a 10 veces menor al valor de biomasa aérea total para otras especies del mismo género. Sin embargo las condiciones del lugar y en particular el estado de *N. macrocarpa* son sustancialmente diferentes y contrastan con las condiciones ambientales y el estado de desarrollo de otros rodales estudiados.

Los bosques presentes en cerro El Roble son de segundo crecimiento y han sido en forma permanente, fuertemente presionados e intervenidos por la acción directa del hombre.

Variaciones microclimáticas en el sector podrían también estar condicionando el crecimiento y la supervivencia de la especie.

Según los resultados presentados por Lloret *et al.* (2005), una variación relativamente modesta en las condiciones climáticas de sectores con clima mediterráneo, como la presente en el área bajo estudio, podrían producir cambios significativos en las interacciones de especies que se desarrollan en estos climas. Las dinámicas de la vegetación están controladas por los procesos de interacción que operan a distintas escalas, por lo tanto el cambio climático tiene una dimensión global pero interactúa a nivel local con la estructura y la composición de especies de la comunidad.

Estos cambios a escala local, podría estar alterando las condiciones normales de desarrollo de la especie.

El Santuario de la Naturaleza Cerro El Roble es una zona geográfica con características climáticas restrictivas, las que acompañadas de una fuerte presión antrópica, condicionan la productividad de roble de Santiago, que se refleja en una baja tasa de crecimiento y acumulación de biomasa.

## 5.0 CONCLUSIONES

El método regresional y las funciones seleccionadas estiman de buena forma la biomasa aérea total y por componentes de los vástagos de *Nothofagus macrocarpa*, permitiendo una fácil aplicación y una gran flexibilidad de uso. En todos los modelos seleccionados, el DAP resulta ser la mejor variable para describir el peso seco.

Los valores de crecimiento encontrados en este estudio presentan diferencias al ser comparados con otras especies del género *Nothofagus*. La biomasa aérea total de *N. macrocarpa* en el Santuario, es entre cinco a diez veces menor a valores de biomasa para otras especies del género.

*N. glauca* es la especie con la que presenta más semejanza de crecimiento, esto debido probablemente a que hay una mayor similitud en relación a las condiciones ambientales de desarrollo entre ambas.

La biomasa fustal ocupa la mayor proporción de peso seco con respecto a la biomasa aérea total del individuo, seguido de la biomasa de ramas y ramillas y, hojas.

Roble de Santiago ubicado en el cerro El Roble, presenta en general bajas tasas de crecimiento, acumulación de biomasa aérea y productividad.

## 6.0 BIBLIOGRAFÍA

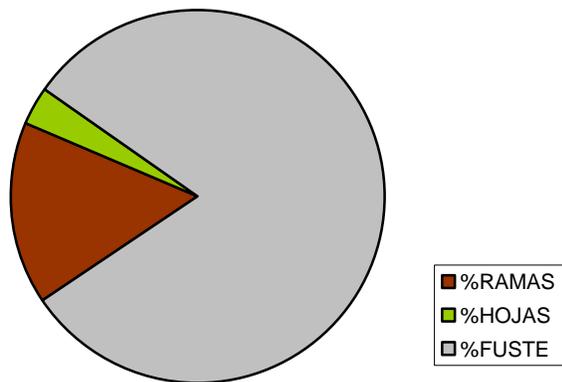
- ANDERSON, F. 1971. Method and preliminary result of estimation of biomass and primary production in south Swedish mixed deciduous wood-land. In: Symposium on the productivity of forest ecosystems. Brusels 1959. Productivity of forest ecosystems. Productié des ecosystems forestieres. Ed. Por. P Duvigneaud. Paris. UNESCO 1971. pp 281-287.
- ARMESTO, J.J., ROZZI, R. y SMITH-RAMÍREZ, C. 1998. Conservation targets in South American temperate forests. *Science* 282: 1271-1280.
- BALDUZZI, A., TOMASELLI, R., SEREY, I. y VILLASEÑOR, R. 1982. Degradation of the mediterranean type of vegetation in Central Chile. *Ecología Mediterránea* 8: 223-240.
- 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.
- CABELLO, G., ELORTEGUI, S., LUEBER, F., MANRIQUEZ, H., MEYNARD F., MOREIRA, A., MUÑOZ, M., PLISCOFF, P., SOLERVICENS C., STINGO, B., TORRES-MURA, C., VENEGAS, F. y VIVALLO, F, 2002. Parque Nacional La Campana: origen de una Reserva de la Biosfera en Chile central. Santiago. Taller La Era. 176 p.
- CALDENTEY, J. 1990. Productividad natural 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. pp 27- 38.
- CHUYENDA, S y KIZAK, A. 1984. Addity of component biomass regresion equation when the underlying model is linear. *Can. J. For. Res.* 14(3):441-446.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 2004. Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago. CONAMA Metropolitana de Santiago. 98 p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 2009. Listado de especies clasificadas en 1°, 2° y 3° proceso de clasificación de especies según el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres [en línea] <<http://www.conama.cl/clasificacionespecies/index2.htm>> [consulta: 21 septiembre 2009].
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 1989. Libro rojo de la flora terrestre Chile. Benoit (Ed.). Corporación Nacional Forestal, Santiago. 157 p.

- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2005. Plan de Manejo participativo. Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble. Corporación Nacional Forestal de la Región Metropolitana de Santiago y Asociación de Comuneros de Capilla de Caleu. Región Metropolitana. 228 p.
- CROW. 1978. Common regression to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest Science*. 24 (1): 110-114.
- DI CASTRI F. y HAJEK, E.R. 1976. Bioclimatología de Chile. Imprenta-Editorial de la Universidad Católica de Chile. Santiago. 129 p.
- DONOSO, C. 1995. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 484 p.
- DONOSO, L. 2007. Propuesta de intervenciones silvícolas con fines de conservación para la formación boscosa de *Nothofagus macrocarpa* (Caleu, Prov. de Chacabuco). Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 112 p.
- ESPINOSA, V., MOREIRA, A., LUEBERT, B., ESPINOZA, G. y MOLINA, J. D., 2002. Guía de Manejo Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble. Corporación Nacional Forestal. Oficina Región Metropolitana. Santiago, 53 p.
- ELÓRTEGUI, S. y MOREIRA-MUÑOZ, A. (Eds.) 2002. Parque Nacional La Campana: origen de una Reserva de la Biosfera en Chile Central. Taller La Era, Santiago, Chile. 176 p.
- FIERRO, P. 1998. Experiencia Silvicultural del Bosque Nativo de Chile. Recopilación de Antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Corporación Nacional Forestal. 420 p.
- FIGUEROA, J. y JAKSIC, F. 2004. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:201-215.
- GAJARDO, R. 1981. Interpretación histórica y perspectivas en el uso del matorral esclerófilo. *Monografías Biológicas* 1: 55-63.
- GAJARDO, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución geográfica. Ed. Universitaria. Chile. 165 p.
- GAJARDO, R. 2001. Antecedentes sobre el “Roble de Santiago” o “Roble Blanco” (*Nothofagus macrocarpa*) y sus problemas de conservación. *Revista Bosque Nativo* (Valdivia). 28: 3-7.
- GARCÍA, N. ORMAZÁBAL, C. 2008. Árboles Nativos de Chile. Enersis S.A. Santiago, Chile. 196 p.

- GARFIAS, R. 1994. Crecimiento y biomasa en un renoval raleado de *Nothofagus alpina* (Poepp. Et Endl) Oerst. en la provincia de Bío Bío, VIII Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 64 p.
- GAYOSO, J. GUERRA, J. y ALARCON, D. 2002. Medición de La capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y Promoción en el mercado mundial. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia. Universidad Austral de Chile. 157 p.
- GOMEZ PÉREZ, H. 1976. Estimación de algunos componentes de la biomasa vegetal en *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 50 p.
- GONZALORENA, L. 2003. Bosques de Roble (*Nothofagus macrocarpa*) en Cuesta La Dormida: Una aproximación desde la ecología del paisaje. Seminario de Título, Biología Ambiental. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas. 31 p.
- GORE – RM. 2001. Proyecto OTAS. Cuarta Etapa. Requerimientos a los Usos del Territorio. Universidad de Chile – Gobierno Regional Región Metropolitana de Santiago.
- HECHENLEITNER V., P., M. F. GARDNER, P. I. THOMAS, C. ECHEVERRÍA, B. ESCOBAR, P. BROWNLESS y C. MARTÍNEZ A., 2005. Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera Edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 p.
- LAVOREL, S., CANADELL, J., RAMBAL, S y TERRADAS, J. 1998. Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography letters* 7 (3): 157-166.
- LUEBERT, F. y BECERRA, P. 1998. Representatividad vegetacional del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile. *Ciencia y Ambiente* 14 (2): 62-68.
- LUEBERT, F. y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Editorial Universitaria S.A. Santiago. Chile. 316 p.
- LLORET, F., PEÑUELAS, J. y ESTIARTE, M. 2005. Effects of vegetation canopy and climate on seedling establishment in Mediterranean shrubland. *Journal of Vegetation Science* 16: 67-76.
- MADGWICK, H. 1970. Biomass and productivity models of forests canopies. En: *Analysis of temperate forests ecosystems*. Springer Verlag, Berlín, RFA. pp 47-53

- MAGNI, R. 1995. Acumulación de biomasa y nutrientes en un bosque mixto natural de lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. Endl.) Krasser) y Coigue de Magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst) en la XII Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 93 p.
- MANRÍQUEZ, H. 2002. Geomorfología de la Campana. En: ELÓRTEGUI, S., MOREIRA-MUÑOZ, A. (Eds.) 2002. Parque Nacional La Campana: Origen de una Reserva de la Biosfera en Chile Central. Taller La Era, Santiago, Chile. 27-35 p.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R., MITTERMEIER, C., FONSECA, G. y KENTS, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- MUÑOZ, M., NÚÑEZ, H. y YÁNEZ, J. 1996. Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal. 203 p.
- NEWBOULD, P. J. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. International Biological Programme, London. Blackwell Sci. Publ. 62 pp.
- NOWAK, D. 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. *Forest Science* 42(4): 504-507.
- OHEIMB, G.v., WESTPHAL, C., TEMPEL, H. y WERNER, H. 2005. Structural pattern of near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*) (Serrahn, North-east Germany). *Forest Ecology and Management* 212: 253-263.
- ORMAZÁBAL, C. y BENOIT, I., 1987. El estado de conservación del género *Nothofagus* en Chile. *Bosque*:8(2) 109-120.
- PARDÉ J. 1980. Forest Biomass. Forests products abstracts. Review Article. *Empire Forestry review* 41(8):343-361.
- PAUCHARD, A. y VILLARROEL, P. 2002. Protected Areas in Chile: History, Current Status, and Challenges. *Natural Areas Journal* 22: 318-330
- PEDRASA, M. 1989. Producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alesandrii* Espinosa (ruil), en la zona de Constitución. Santiago. Universidad de Chile. Tesis Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 109 p.
- POLYMÉRIS, C. 1993. EL género *Nothofagus* BLUME en Chile, algunas implicaciones de su diversidad biológica. *Ciencia e Investigación Forestal*, 7 (2): 359-375.
- PRADO, J. y AGUIRRE, S. 1987. Funciones para la estimación de la biomasa total y de componentes del Quillay (*Quillaja saponaria* Mol). *Ciencia e Investigación forestal* 1(1): 41-47.

- PRADO, J. INFANTE, P. ARRIAGA, M. y 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.
- PRODAN, M., PETERS, R., COX, F. y REAL, P., 1997. Mensura Forestal. IICA. San José. Costa Rica. 561 p.
- PRONK, T. E. 2004. The role of plant traits in the regulation of diversity. A modelling study. Plant Ecology Group, Faculty of Biology. Utrecht University. 174 p.
- RAMÍREZ, C. 1987. El género *Nothofagus* y su importancia en Chile. Bosque: 8 (2): 71-76.
- RAVENNA, P. 2002. *Nothofagus macrocarpa* y *Nothofagus rutila* (Fagaceae), two distinct species. Onira 7 (11): 57-60.
- RIEDEMANN, P. y ALDUNATE, A. 2000. Flora nativa de valor ornamental: Chile, Zona Centro. Editorial Andrés Bello. 134 p.
- RODIN, L. y BAZILEVICH, N. 1967. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Chapter 3. Deciduous and broad-leaved forests. London, England. pp. 115-164.
- ROMERO, F. y TEILLIER, S. 2009. Caracterización de las comunidades vegetales subandinas y andinas en los altos de Cantillana. Cordillera de la Costa, Región Metropolitana. Chile. Chloris Chilensis Año 12. N° 1. URL://www.chlorischile.cl
- SAEZ, M. 1991. Biomasa y contenido de nutrientes de renovales no intervenidos Roble-Raulí (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst-*Nothofagus alpina* (Poepp, et Endl.) Oerst) en suelos volcánicos de la precordillera Andina, IX Región. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 96 p.
- SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J. M., 1993. Atlas agroclimático de Chile, Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Ministerio de Agricultura. Fondo de investigación agropecuaria. Corporación Nacional de Fomento. Santiago. Chile. 65 p.
- SCHLEGEL, B., GAYOSO, J. y GUERRA, J. 2000. Manual de procedimientos y muestreos de biomasa forestal. Valdivia. Universidad Austral De Chile. Proy. FONDEF D98I1076. 26 p.
- SERRA, M.T. 1990. Elementos florísticos de los bosques esclerófilos y espinosos de Chile Centra. 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. 19- 37 p.



umulación de biomasa en renovales de coihue de  
des (Mirb.), Oerst) en el sector del río San Juan, XII

AVEDRA, F y PAUCHARD, L. 1994. Flora del  
egión Metropolitana, Chile). En: Gayana Botánica

TELLER A. 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a spruce forest  
(Strainchamps, 1983). Commonwealth Forest Review 67(2):129-147.

UDVARVY, M. 1975. A clasificación of the biogeographical provinces of the World.  
International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Occasional  
paper N° 18. Morges, Switzerland.

UNORCH. 2006. Guía Educativa para La Conservación de la Biodiversidad. Sitio  
Prioritario El Roble, Comuna De Lampa. Santiago, 85 p.

VALENZUELA, P. 1995. Biomasa y contenido de nutrientes en un bosque multietáneo de  
lenga, en la Provincia de Magallanes, XII Región. Universidad de Chile. Tesis para  
optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. 91 p.

VAN STEENIS, J. 1972. Nothofagus, key genus to plant geography. En: Taxonomy,  
phytogeography and evolution. Academic Press. pp 274-289.

VÁSQUEZ, F.M. y RODRÍGUEZ, R.A. 1999. A new subspecies and two new  
combinations of Nothofagus Blume (Nothofagaceae) from Chile. Botanical Journal  
of Linnean Society (London), 129: 75-83.

VILLASEÑOR, R. 1980. Unidades fisionómicas y florísticas del Parque Nacional La  
Campana. Anales del Museo de Historia Natural (13):65-70.

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

WHITE, P.S. 1979. Pattern, process and disturbance in vegetation. Bot. rev (Lancaster) 45  
(3): 229-299.