

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

**ESTIMACIÓN DE RESERVORIOS DE CARBONO ASOCIADOS A
VEGETACION ARBOREA. INFLUENCIA DE VARIABLES BIÓTICAS Y
ABIÓTICAS EN UNA FORMACIÓN VEGETAL TÍPICA DEL BOSQUE
SIEMPREVERDE, INIO, CHILOÉ**

SEBASTIÁN ANDRÉS OLGUÍN MANRÍQUEZ

Santiago, Chile

2009

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

**ESTIMACIÓN DE RESERVORIOS DE CARBONO ASOCIADOS A
VEGETACION ARBOREA. INFLUENCIA DE VARIABLES BIÓTICAS Y
ABIÓTICAS EN UNA FORMACIÓN VEGETAL TÍPICA DEL BOSQUE
SIEMPREVERDE, INIO, CHILOÉ**

**ESTIMATION OF TREE VEGETATION CARBON STOCK. INFLUENCES OF
BIOTICS AND ABIOTICS VARIABLES IN THE EVERGREEN FOREST, INIO,
CHILOÉ**

SEBASTIÁN ANDRÉS OLGUÍN MANRÍQUEZ

Santiago, Chile

2009

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
2. ABSTRACT	7
3. INTRODUCCIÓN.....	8
3.1 OBJETIVO GENERAL	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
4.1 LUGAR DE ESTUDIO.....	11
4.2 MÉTODOS.....	13
4.2.1 <i>Descripción, ubicación y registro de las unidades de muestreo</i>	13
4.2.1.1 <i>Renoval juvenil:</i>	13
4.2.1.2 <i>Renoval adulto:</i>	13
4.2.1.3 <i>Bosque Maduro:</i>	14
4.2.2 <i>Medición y estimación de variables abióticas</i>	16
4.2.3 <i>Estimación del Contenido de C orgánico de la biomasa</i>	16
4.2.3.1 <i>Estimación biomasa seca aérea:</i>	16
4.2.3.2 <i>Estimación biomasa seca de raíces:</i>	18
4.2.3.3 <i>Contenido de C orgánico aéreo y radical:</i>	18
4.2.3.4 <i>Derivación de variables bióticas:</i>	19
4.2.4 <i>Análisis estadístico</i>	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.1 CONTENIDO DE C ORGÁNICO Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA.....	21
5.1.1 <i>Comparación de contenido de C con estimaciones en diferentes ecosistemas</i>	22
5.1.2 <i>Composición Florística</i>	24
5.1.3 <i>Contenido de C orgánico por especie</i>	25
5.2 DENSIDAD DE INDIVIDUOS.....	28
5.3 CONTENIDO DE C ORGÁNICO POR ESPECIE Y SITUACIÓN DE BOSQUE	29
5.3.1 <i>Contenido C orgánico en Renoval juvenil</i>	30
5.3.2 <i>Contenido C orgánico en Renoval adulto</i>	31
5.3.3 <i>Contenido C orgánico en Bosque Maduro</i>	32
5.4 ANÁLISIS DE REGRESIONES	33
5.4.1 <i>Variables abióticas</i>	33
5.4.2 <i>Variables bióticas</i>	34
5.4.3 <i>Combinación de variables bióticas y abióticas</i>	35
6. CONCLUSIONES.....	39
7. REFERENCIAS	41

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1: Funciones específicas de estimación de biomasa seca aérea (BSA) desarrolladas por Gayoso et al. (2002) para las diferentes especies analizadas en este estudio.</i>	17
<i>Cuadro 2: Funciones generales de estimación de BSA del bosque siempreverde de Gayoso et al., (2002) e intervalo de DAP definido.....</i>	17
<i>Cuadro 3: Funciones de estimación de BSA de Ortega (2002) para el sitio Cordillera de la Costa.....</i>	18
<i>Cuadro 4: Porcentaje de conversión de biomasa seca aérea en biomasa seca radical (Gayoso et al., 2002).</i>	18
<i>Cuadro 5: Porcentaje de conversión de BSA y BSR en contenido de C orgánico para diferentes especies utilizados en este estudio (Gayoso et al., 2002).</i>	19
<i>Cuadro 6: Estimaciones de C orgánico para las combinaciones de estimación de Gayoso – Ortega y Ortega diferenciados por la condición de desarrollo del bosque en cada parcela.....</i>	21
<i>Cuadro 7: Promedio del C orgánico según el tipo de bosque para las combinaciones de estimación de Gayoso – Ortega y Ortega.</i>	22
<i>Cuadro 8: Comparación del C orgánico estimado en este estudio para cada estado desarrollo del bosque con contenido de C almacenado en la vegetación arbórea viva en diferentes ecosistemas.....</i>	23
<i>Cuadro 9: Especies arbóreas presentes en cada parcela.</i>	24
<i>Cuadro 10: Densidad vegetacional de individuos en cada parcela, catalogado según estado de desarrollo del bosque.</i>	28
<i>Cuadro 11: Resultados de la regresión simple de las variables abióticas y el contenido de C orgánico de la biomasa arbórea para los casos A y B.....</i>	33
<i>Cuadro 12: Modelos determinados por el análisis Stepwise para las variables abióticas en los casos A y B.</i>	34
<i>Cuadro 13: Resultados de la regresión simple de las variables bióticas para los caso A y B.....</i>	34
<i>Cuadro 14: Modelos determinados por el análisis Stepwise para las variables bióticas en los casos A y B.</i>	35
<i>Cuadro 15: Modelos determinados por el análisis Stepwise para ambos tipos de variables en los casos A y B, excluyendo la variable Altitud.....</i>	35
<i>Cuadro 16: Modelos determinados por el análisis Stepwise para ambos tipos de variables en los casos A y B, excluyendo la variable Altitud y C Canelo.....</i>	35
<i>Cuadro 17: Modelo determinado por el análisis stepwise para la situación de análisis que contiene los datos registrados en Bosque Maduro y Renoval adulto.</i>	37

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación y límites del Parque Tantauco en la Isla Grande de Chiloé.</i>	11
<i>Figura 2: Clasificación vegetal arbórea del Parque Tantauco en función de dominancia de especies, basado en Chileambiente (2005).</i>	12
<i>Figura 3: Situación de bosque de renoval juvenil.</i>	13
<i>Figura 4: Situación de bosque de renoval adulto.</i>	14
<i>Figura 5: Situación de bosque maduro</i>	14
<i>Figura 6: Ubicación de las parcelas de muestreo según el estado de desarrollo de la vegetación.</i>	15
<i>Figura 7: Contribución por especie de C orgánico (Mg ha⁻¹) para cada parcela.</i>	25
<i>Figura 8: Contribución porcentual por especie de C orgánico en cada parcela.</i>	26
<i>Figura 9: Porcentaje por especie del aporte total de C orgánico de todas las parcelas</i>	27
<i>Figura 10: Porcentaje de individuos por especie registrados en la totalidad de las parcelas según tipo de bosque.</i>	29
<i>Figura 11: A) Aporte por especie de C para las parcelas con situación de renoval juvenil. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas con situación de renoval juvenil.</i>	30
<i>Figura 12: A) Aporte por especie de C orgánico para las parcelas con situación de Renoval adulto. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas en situación de Renoval adulto.</i>	31
<i>Figura 13: A) Aporte por especie de C orgánico para las parcelas con situación de bosque Maduro. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas con situación de bosque Maduro.</i>	32
<i>Figura 14: A) Residuales del modelo multivariado para el caso A. B) Residuales del modelo multivariado para el caso B.</i>	36
<i>Figura 15: Residuales del modelo que considera solamente a las parcelas de bosque maduro y renoval adulto.</i>	38

1. RESUMEN

Se estimó el reservorio de C orgánico de la vegetación arbórea viva en el Bosque Siempreverde en Inio, Chiloé (43°21' S, 74°07' O), y se analizó su relación con variables abióticas y bióticas. Se inventariaron 14 parcelas de 20 × 50 m, registrando especie y diámetro a la altura del pecho (DAP) > 3cm de todos los individuos. Se estimó la biomasa aérea y radical, y el C orgánico total mediante funciones de estimación de biomasa y factores de conversión existentes. Los reservorios de C estimados variaron entre 5,2 y 1408,5 Mg ha⁻¹ (promedio 276,8 Mg ha⁻¹). Paralelamente se midieron variables abióticas de cada parcela: pendiente, altitud y distancia a Inio, y se calculó la radiación solar acumulada a partir de la exposición.

Las variables abióticas por si solas y combinadas no explicaron satisfactoriamente el contenido de C orgánico arbóreo (R² 0,11-0,41), esto imposibilita estimarlo remotamente con los modelos ajustados. Agregando variables bióticas se obtuvo un mejor ajuste estadístico. El modelo que mejor explica el contenido de C arbóreo incluye las variables de Densidad, Pendiente y C orgánico aportado por *Nothofagus nitida* (R² = 0,99). Este modelo simplifica el muestreo en terreno de manera significativa al solo tener que registrar el DAP de los individuos de *N. nitida* (promedio de 15 individuos/parcela), y la densidad total de árboles (promedio de 136 individuos/parcela).

Palabras claves: Reservorios de Carbono, Bosque Siempreverde, Isla de Chiloé.

2. ABSTRACT

The organic carbon (C) stock in forest vegetation of Evergreen Forest at Inio, Chiloe (43°21' S, 74°07' O) was estimated and it was analyzed their relationship whit abiotics and biotics variables. Fourteen 20 × 50 m sized plots were delimited, measuring species, diameter at breath height (DBH) > 3cm of all individuals. It was estimated the above and below ground biomass, and the total organic C, through biomass estimation function and conversion factors. The estimated C stocks ranged from 5.2 to 1408.5 Mg ha⁻¹ (mean 276.8 Mg ha⁻¹). Parallelly, abiotics variables in each plot were measured: slope, altitude and distance to Inio, and the accumulated solar radiation was calculated using the aspect.

The abiotics variables by their own and combined, don't satisfactory explain the forest organic C content ($R^2 = 0.11-0.41$). This situation disable a remote estimation with the adjusted model. Adding biotics variables it was obtained a better statistical fitting. The model that better explains the forest organic C content includes Density, Slope and organic C contributed by *Nothofagus nitida* ($R^2 = 0.99$). This model simplifies the field sampling significantly only having to measure *N. nitida* DBH (15 individuals/plot mean), and the total tree density (mean 136 individuals/plot).

Keywords: Carbon Stock., Evergreen Forest, Chiloé Island.

3. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la revolución industrial las emisiones a la atmósfera de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero (GEI) producidos por las actividades antrópicas han ido incrementándose progresivamente. La concentración de CO₂ atmosférico aumentó de un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm, a 379 ppm en 2005, mientras que sólo aumentó 20 ppm durante los 8.000 años previos a la industrialización (IPCC, 2007). El aumento de las emisiones de GEI son el producto de sistemas dinámicos muy complejos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico (Metz et al., 2005).

Las causas principales del aumento del CO₂ atmosférico son las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles y del impacto del cambio en el uso de la tierra, particularmente en termino de las disminuciones en el carbono acumulado en las plantas y en el suelo (IPCC, 2007). La deforestación es uno de los principales problemas del cambio de uso de la tierra; esta práctica incide en la emisión a la atmósfera de C que contiene la vegetación y además provoca una disminución de la superficie vegetal que captura C atmosférico.

Los ecosistemas marinos y terrestres absorben actualmente cerca de la mitad de las emisiones de CO₂ provenientes del uso de combustibles fósiles (Schimel *et al.*, 2001). La absorción y almacenamiento del C en la biósfera terrestre emerge de la diferencia neta entre la absorción producto del crecimiento de la vegetación, los cambios en la reforestación y el secuestro y las emisiones debidas a la respiración heterotrófica, la deforestación, los incendios, la contaminación y otros factores que afectan a la biomasa y los suelos (IPCC, 2007).

Los sistemas forestales son el mayor reservorio de C terrestre, constituyendo el ecosistema que tiene el mayor intercambio de C entre la atmósfera y la superficie de la Tierra (Kim Phat *et al.*, 2004), por lo tanto resulta trascendental protegerlos, fomentar su reforestación, y realizar un manejo sustentable de estos ecosistemas.

La cantidad del contenido de C orgánico varía dependiendo del reservorio analizado, sea este de vegetación arbórea, necromasa, hojarasca o suelo. A su vez esta cantidad de C varía también según el tipo de ecosistema en donde se realice la estimación (Ajtay et al., 1979). El potencial de captura de C por parte de un ecosistema puede determinarse directamente mediante métodos que determinan los flujos de carbono en un corto periodo de tiempo, sin embargo requieren de grandes inversiones y recursos que hoy no están disponibles en Chile. También puede determinarse mediante la comparación de stocks o reservorios de C a través de tiempo (Gayoso et al., 2002).

Debido a que la cantidad de C existente en un determinado ecosistema forestal depende, dentro de otros factores, del tipo y estado de la vegetación y de la abundancia de la cubierta vegetal, es necesario estimar los reservorios de C asociados a la vegetación arbórea en

distintas condiciones de relieve (e.g., altitud, pendiente y exposición), las cuales pueden determinar un desarrollo diferencial de la cubierta vegetal. De esta forma se puede extrapolar el C total que se encuentra asociado a las especies arbóreas a diferentes lugares que presenten características vegetacionales y condiciones abióticas similares.

Las metodologías utilizadas a nivel mundial para la estimación de C en ecosistemas forestales son muy variadas. También ocurre esto con la escala de trabajo, existiendo estimaciones a gran escala (mundial), a nivel regional y local. Como el crecimiento de la biomasa esta influenciada por las distintas condiciones del suelo, clima y variables topográficas resulta de mucha importancia realizar estudios que permitan conocer la tasa de incremento y cantidad de biomasa acumulada en un bosque a nivel local

Resulta fundamental conocer el impacto de la protección, conservación y recuperación de zonas degradadas en la mitigación de las emisiones de CO₂. Para esto es necesario la realización de estudios que determinen el potencial de captura de C por parte del bosque nativo, en determinados ecosistemas y condiciones abióticas, ya que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque (Gayoso, J., 2001). Para esto se hace necesario inicialmente medir los stocks o reservorios de C asociados a la vegetación arbórea existente dentro del área de estudio.

El sector sur de la Isla de Chiloé fue declarado sitio prioritario de conservación de la biodiversidad por la Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA), debido a la presencia de una alta diversidad y riqueza de especies, también presenta un alto nivel de pristinidad y además corresponde a un ecosistema poco representado dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) (CONAMA, 2002), este sitio prioritario lleva como nombre Chaiguata.

El parque Tantauco abarca una gran extensión de este sitio prioritario. Dentro del parque existen áreas que presentan condiciones naturales con escasa intervención antrópica, además sectores afectados por incendios forestales y zonas que no presentan ningún grado de intervención. Esto genera un escenario diverso en relación al estado de desarrollo de los bosques presentes en el parque, lo cual se manifiesta en la presencia de diferentes situaciones de la cubierta vegetal, por lo tanto resulta un excelente lugar para estimar los reservorios de C orgánico asociados a la vegetación arbórea.

3.1 Objetivo General

Determinar la influencia de algunas variables bióticas y abióticas en la cantidad de C asociado a una formación vegetal típica del Bosque Siempreverde.

3.2 Objetivos Específicos

1. Estimar los reservorios de C asociados a vegetación arbórea en distintas situaciones de variables abióticas (exposiciones, altitudes y pendientes, distancia Inio) y bióticas.
2. Determinar la relación de las variables abióticas y bióticas con la cantidad de C estimado en los reservorios de vegetación arbórea.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Lugar de Estudio

El estudio se realizó en las cercanías de la localidad de Inio ($43^{\circ}21'45''\text{S}$, $74^{\circ}07'16''\text{O}$), dentro del Parque Tantauco, el cual abarca el sector sur de la Isla Grande de Chiloé en la Región de Los Lagos (Figura 1). Su extensión es de 118.000 ha y presenta alturas entre 0 y 600 m s.n.m. Las alturas entre los 0 y los 100 m s.n.m corresponden al 77% de la extensión del parque, el 16,5% del área del parque se sitúa entre los 100 y los 200 m s.n.m. y las alturas entre los 200 y 300 m s.n.m corresponden al 6,1% del área, configurando un 99,1% de la extensión del parque con alturas inferiores a los 300 m s.n.m.

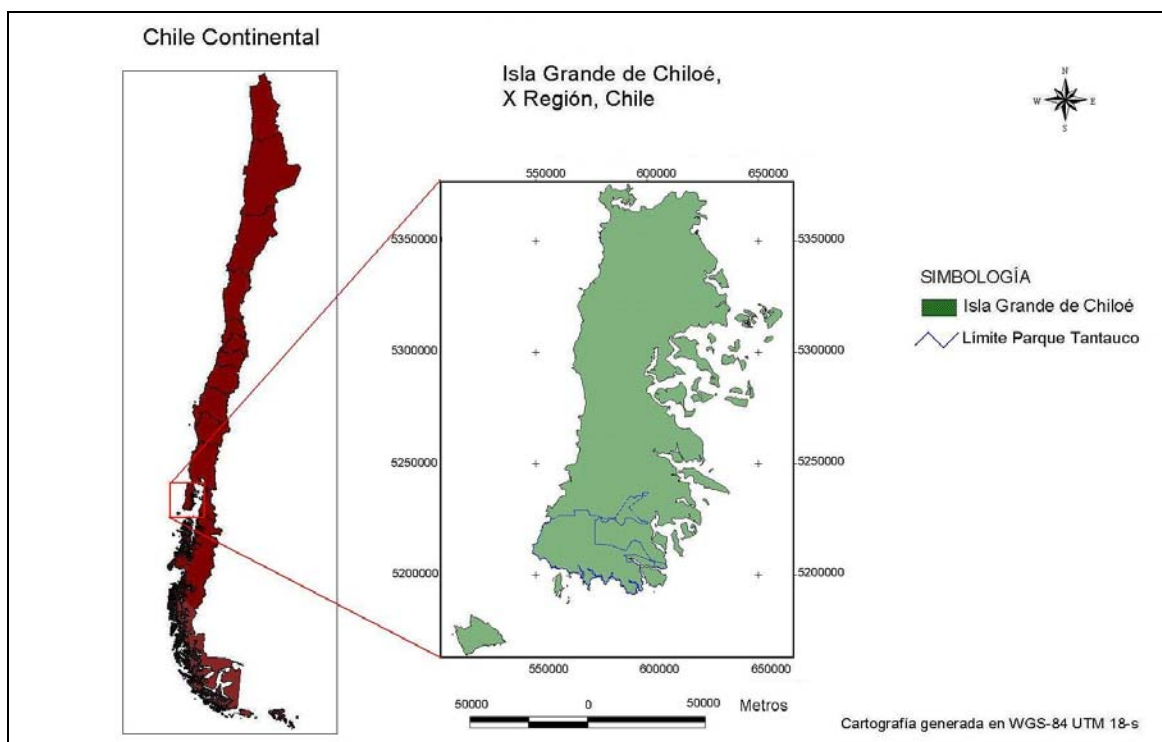


Figura 1. Ubicación y límites del Parque Tantauco en la Isla Grande de Chiloé.

El 95% del parque presenta pendientes inferiores al 34,4%, existiendo lugares con pendientes superiores al 66,4%. Las temperaturas fluctúan entre los -2°C y los 27°C , alcanzando precipitaciones de 3000 mm/año (Chileambiente, 2005).

El área donde se encuentra ubicado el parque Tantauco corresponde a la formación vegetal de Bosque Siempreverde y Turbera según la clasificación de Gajardo (1994). Para la clasificación de pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2004) corresponde a la

categoría de bosque resinoso templado costero de *Pilgerodendron uviferum* (Ciprés de las Guaitecas) y *Tepualia stipularis* (Tepú). Según la clasificación de Donoso (1981), en el parque se encuentran los tipos forestales Ciprés de la Guaitecas y Siempreverde.

El estudio se realizó en situaciones de bosque en donde las especies *Nothofagus nitida* (Coigüe de Chiloé), *Drimys winteri* (Canelo) y *Laureliopsis Philippiana* (Tepa) presentaban un carácter dominante. De esta forma el área de estudio corresponde a toda la extensión del parque Tantauco en donde existan condiciones de bosque similar a las existentes en las parcelas registradas en terreno. Para determinar esta área se realizó una clasificación del parque Tantauco en función de la vegetación dominante, utilizando la clasificación de tipos de vegetación realizada por Chileambiente (2005).

En la Figura 2 se observa la clasificación de vegetación dominante. Se aprecian cuatro categorías de vegetación arbórea, las cuales abarcan una extensión de 94.004 ha.

Según esta clasificación el sitio de estudio corresponde a la categoría Coigüe de Chiloé-Tepa, la cual tiene una extensión de 37.101 ha, representando el 39,47% del área del parque con algún tipo de vegetación arbórea, y al 31,44% de la totalidad del parque Tantauco. Esta zona presenta una dominancia vegetal de las especies Coigüe de Chiloé y Tepa, acompañada principalmente por Canelo y *Caldcluvia paniculata* (Tiaca).

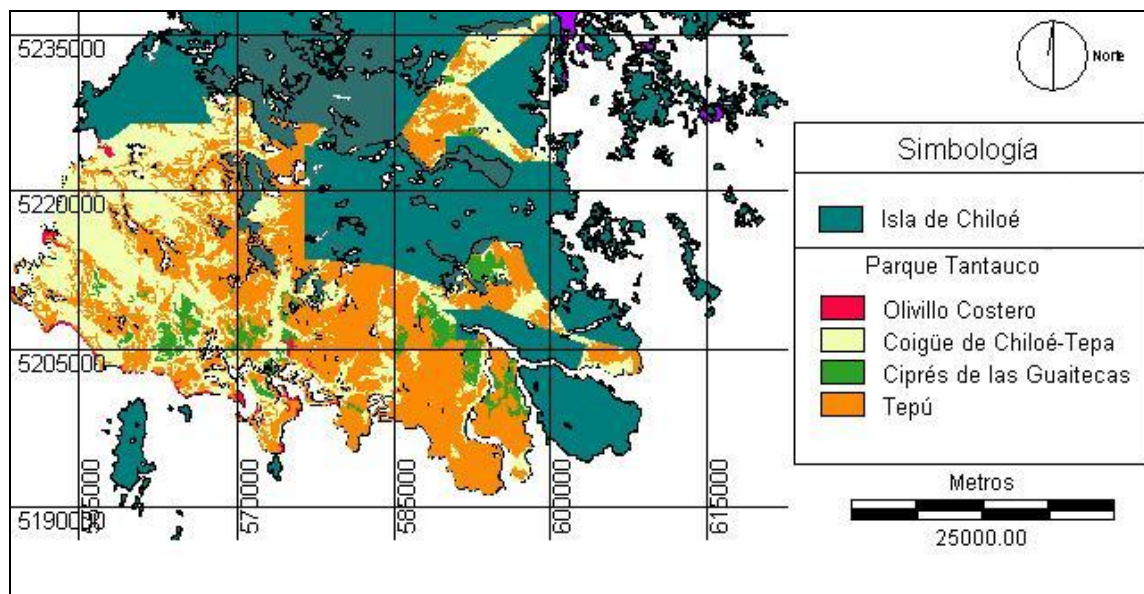


Figura 2: Clasificación vegetal arbórea del Parque Tantauco en función de dominancia de especies, basado en Chileambiente (2005).

4.2 Métodos

4.2.1 Descripción, ubicación y registro de las unidades de muestreo

Se realizó una estimación de los reservorios de C orgánico en 14 parcelas rectangulares (20 × 50 m), posicionadas en diferentes combinaciones de variables abióticas. Estas estimaciones se desarrollaron en tres diferentes estados de desarrollo del bosque:

4.2.1.1 *Renoval juvenil*: Esta situación de bosque corresponde a una sucesión vegetacional juvenil producto de un incendio forestal. Las parcelas registradas en este estado de desarrollo del bosque presentaban como especies dominantes al Coigüe de Chiloé, Tineo y Tepú. (Figura 3),



Figura 3: Situación de bosque de renoval juvenil.

4.2.1.2 *Renoval adulto*: Esta situación de bosque es producto de la intervención antrópica por tala, las parcelas registradas en esta situación se encontraban dominadas por individuos de la especie Canelo y en menor medida por Coigüe de Chiloé. Esta situación puede observarse en la Figura 4.



Figura 4: Situación de bosque de renoval adulto.

4.2.1.3 *Bosque Maduro*: Esta situación de bosque no presentaba prácticamente ningún grado de intervención antrópica. Las parcelas registradas en esta situación se encontraban profundamente dominadas por las especies Coigüe de Chiloé y Tapa, encontrándose en abundancia individuos de Tiaca y Canelo. Esta situación de bosque puede apreciarse en la Figura 5.



Figura 5: Situación de bosque maduro

Para determinar la ubicación espacial de cada parcela se usó un sistema de posicionamiento global (GPS). Dentro de cada unidad de muestreo se identificó la especie de cada individuo y se registró la variable Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), considerándose para efectos de este estudio a todos los individuos arbóreos vivos que presentaran un DAP mayor a 3 cm.

La ubicación de las parcelas fue definida en función de la accesibilidad y de las características de la vegetación estudiada, éstas pueden apreciarse en la Figura 6.

De las 14 parcelas registradas en terreno, seis se ubicaron en la situación de Bosque Maduro con predominancia de la asociación vegetal Coigüe de Chiloé y Tapa, con abundante presencia de Canelo, Tiaca y Tepú. Otras cuatro parcelas se ubicaron en la situación de Renoval adulto de Canelo y Coigüe de Chiloé, con abundante presencia de Tepú y *Amomyrtus meli* (Melí). Las cuatro parcelas restantes se ubicaron en la situación de Renoval juvenil. Estas últimas parcelas presentaban una dominancia de Coigüe de Chiloé, Tineo y Tepú, con abundante sotobosque compuesto del helecho *Blechnum chilense* (Costilla de vaca) y de la planta arbustiva *Philesia magellanica* (Coicopihue).

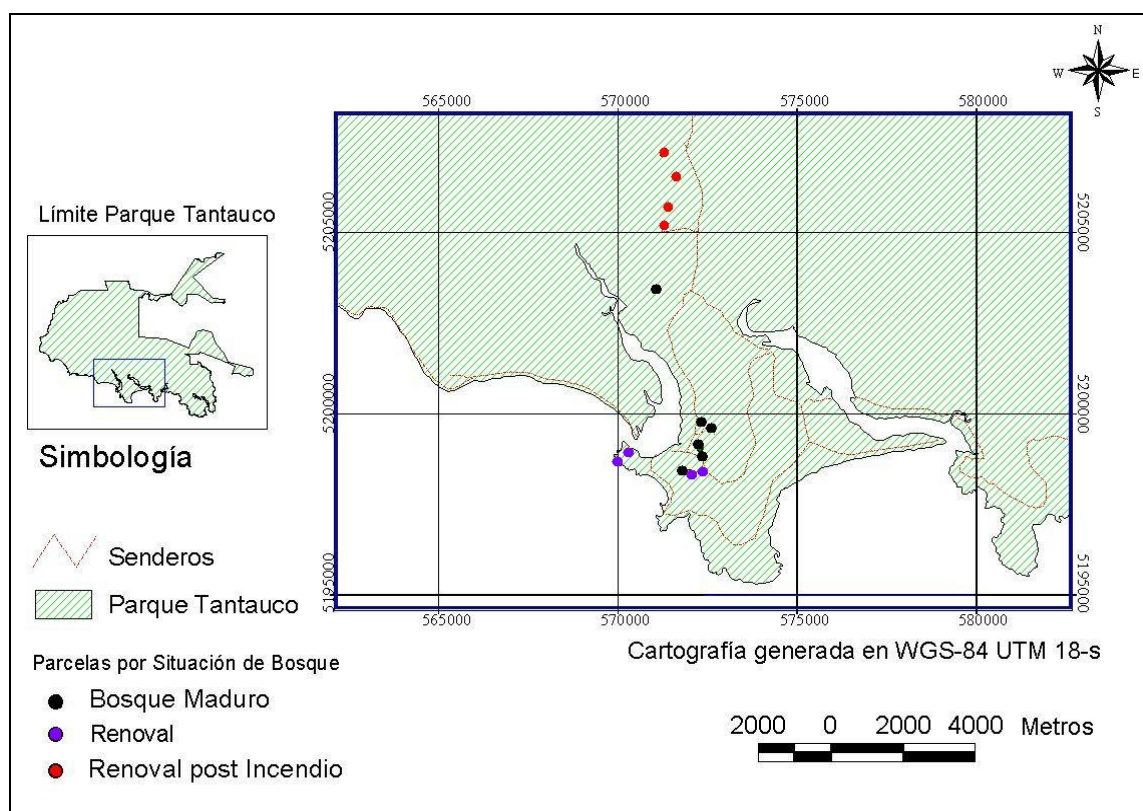


Figura 6: Ubicación de las parcelas de muestreo según el estado de desarrollo de la vegetación.

4.2.2 Medición y estimación de variables abióticas

En el centro de cada parcela se registró la variable Altitud (m.s.n.m.) mediante un sistema de posicionamiento global satelital (GPS), la Pendiente en grados sexagesimales y la Exposición general (grados respecto al Norte magnético) de cada una de las parcelas mediante el uso de un clinómetro Tándem (Suunto Tandem-360PC/360R Compass and Clinometer, Suunto, Finlandia).

La variable Exposición se midió en cada parcela para la posterior estimación del valor promedio anual de radiación global potencial (KWH/m²). Este cálculo se realizó con la herramienta “Solar analysis” del software de SIG ArcView 3.2. Esta aplicación estima la radiación global potencial para el área a estudiar en función del día juliano y las variables de latitud, longitud, pendiente y exposición, utilizando como base un Modelo de Elevación Digital (MED). Se utilizó para este estudio un MED del Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)¹ de una resolución espacial de 90 × 90 m.

La variable distancia a Inio se midió remotamente utilizando algoritmos del software SIG ArcView 3.2. Esto se realizó designando como origen todas las viviendas existentes en Inio, y se midió la distancia desde el objeto señalado (viviendas) hasta puntos específicos (parcelas).

Los valores registrados en cada una de las parcelas de las variables abióticas se encuentran en el Apéndice 2.

4.2.3 Estimación del Contenido de C orgánico de la biomasa

El contenido de C orgánico biomásico se estimó en cada parcela utilizando una serie de funciones alométricas que relacionan el DAP con el peso seco aéreo del individuo. También se utilizaron valores de porcentajes de conversión de peso seco aéreo en peso seco radical, además se ocuparon porcentajes de conversión de peso seco en contenido de C orgánico. El detalle de la utilización de esta metodología se detalla a continuación.

4.2.3.1 Estimación biomasa seca aérea: El primer paso para la estimación del valor de C orgánico de cada parcela fue la estimación de la biomasa seca aérea (BSA) contenida en la vegetación arbórea. Esta estimación se realizó mediante la combinación de funciones de estimación de biomasa desarrolladas por Gayoso *et al.* (2002) y Ortega (2002).

En el estudio de Gayoso *et al.* (2002) fueron desarrolladas funciones de estimación de BSA individuales para 13 especies del bosque Siempreverde, cuya variable independiente es el DAP. Estas funciones están definidas para diferentes intervalos de DAP, dependiendo de la especie. En el Cuadro 1 se muestran las funciones de estimación de BSA de las especies utilizadas en este estudio.

¹ <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Cuadro 1: Funciones específicas de estimación de biomasa seca aérea (BSA) desarrolladas por Gayoso et al. (2002) para las diferentes especies analizadas en este estudio.

Especie	Función de estimación BSA (kg)	Intervalo de DAP definido	R ² Ajustado
Coigüe de Chiloé (<i>Nothofagus nitida</i>)	$BSA = -146,92 + e^{(4,76 + 0,05 \times DAP)}$	12 cm < DAP < 47 cm	0,98
Canelo (<i>Drimys winteri</i>)	$BSA = -5,73 + e^{(3,25 + 0,07 \times DAP)}$	6 cm < DAP < 52 cm	0,97
Tepa (<i>Laurelia phillypiana</i>)	$BSA = e^{(-0,88 + 2,000 \times LN(DAP))}$	6 cm < DAP < 74 cm	0,95
Tineo (<i>Weinmannia trichosperma</i>)	$BSA = -170,11 + e^{(5,23 + 0,03 \times DAP)}$	6 cm < DAP < 91 cm	0,97
Mañío macho (<i>Podocarpus nubigena</i>)	$BSA = e^{(-0,22 + 1,77 \times LN(DAP))}$	7 cm < DAP < 54 cm	0,99

Dentro del mismo estudio de Gayoso et al. (2002) se determinó una función general para la estimación de BSA de las especies pertenecientes al Bosque Siempreverde. Este modelo general está dividido para dos intervalos de DAP, como se puede apreciar en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Funciones generales de estimación de BSA del bosque siempreverde de Gayoso et al., (2002) e intervalo de DAP definido.

Modelo	Intervalo de DAP definido	R ² ajustado (%)	Sesgo (%)
$BSA = e^{(2,55 + 0,12 \times DAP)}$	5 cm < DAP < 30 cm	0,93	-2,3
$BSA = 0,08 \times DAP^{2,45}$	30 cm < DAP < 105 cm	0,94	0,7

Las funciones específicas y el modelo general de estimación de BSA para el Bosque Siempreverde de Gayoso et al. (2002) no entregan una respuesta para la totalidad de los individuos muestreados en terreno, quedando sin determinar la BSA de los individuos que presentan DAP entre los 3 y 5 cm y mayor a 105 cm.

Para estimar un valor de BSA para la totalidad de los individuos registrados en terreno (DAP > 3 cm) se recurrió al modelo general de estimación de BSA desarrollado por Ortega (2002), en el cual se utilizaron los mismos datos del estudio de Gayoso et al. (2002).

El modelo de Ortega (2002) está subdividido en dos categorías: sitio de estudio y diámetro de los individuos. La discriminante por sitio de estudio es Precordillera andina y Cordillera de la Costa. Por diámetro el modelo está segmentado en dos funciones de estimación, para valores de DAP superiores e inferiores a 20 cm. Las funciones de estimación de BSA del modelo de Ortega (2002) para el sitio de Cordillera de la Costa pueden visualizarse en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Funciones de estimación de BSA de Ortega (2002) para el sitio Cordillera de la Costa.

Modelo	Intervalo de DAP definido	R (%) (obs vs pred)	Sesgo (%)
$BSA = e^{(2,08 + 0,15 \times DAP)}$	DAP < 20 cm	0,77	-1,34
$BSA = e^{(4,48 + 0,05 \times DAP)}$	DAP > 20 cm	0,76	-2,14

Para estimar el valor de BSA en cada parcela se utilizaron 2 combinaciones de los modelos anteriormente descritos. La primera combinación consideró las funciones individuales por especie para los valores de DAP definidos (Gayoso *et al.*, 2002). Para los que no estuvieran definidos y para las especies que no existieran funciones individuales se utilizó el modelo general determinado por Ortega (2002). Esta combinación quedó definida como *Modelo Ortega*.

La segunda combinación de modelos utilizada consideró en primera instancia las funciones individuales por especie para los valores de DAP definidos. Para los valores de DAP no definidos y las especies sin función específica se utilizó el modelo general de estimación de BSA propuesto por Gayoso *et al.* (2002). Finalmente, para los individuos con DAP entre los 3 y 5 cm y para aquellos que presentaron un DAP mayor a 105 cm se utilizó el modelo general desarrollado por Ortega (2002). Esta combinación quedó definida como *Modelo Gayoso – Ortega*.

Debido al tamaño de datos a analizar se generó una macro (ver Apéndice 1) utilizando el programa M.S Visual Basic (Microsoft Corp.) en M.S. Excel donde se ingresaron las combinaciones de las funciones previamente descritas, estimando de esta manera el contenido de BSA (Kg.) para cada individuo de todas las parcelas, estos resultados y los derivados posteriormente quedaron alojados en una planilla M.S. Excel.

4.2.3.2 Estimación biomasa seca de raíces: Para la estimación de la biomasa seca de raíces (BSR) contenida en cada individuo, se consideró a ésta como una proporción de la BSA. Gayoso *et al.* (2002) estimó esta relación para algunas especies del Bosque Siempreverde, y además un valor promedio de conversión general para las especies no descritas. El valor de la BSR (kg) se estimó para cada individuo utilizando los porcentajes de conversión mencionados en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Porcentaje de conversión de biomasa seca aérea en biomasa seca radical (Gayoso *et al.*, 2002).

Especie	% de BSA
Canelo	21,84
Coigüe de Chiloé	24,15
Mañío Macho	29,38
Promedio General	28,69

4.2.3.3 Contenido de C orgánico aéreo y radical: En muchos estudios en donde se estima el contenido de C en vegetación arbórea se utiliza el 50% como valor de conversión de la

biomasa seca (aérea y radical) en C (e.g. Richter *et al.*, 1995; Coomes *et al.*, 2002; Hazzlet *et al.*, 2005; Ordoñez *et al.*, 2008).

Sin embargo, en este trabajo se utilizaron los porcentajes de conversión de BSA y BSR en C orgánico estimados por Gayoso *et al.* (2002) para algunas especies del Bosque Siempreverde, los cuales son inferiores al 50% (Cuadro 5) señalado como valor por defecto por el IPCC (1996). Estas estimaciones se realizaron con el método de Walkley y Black, el cual se basa en la oxidación mediante una solución de dicromato de potasio en medio sulfúrico. Según la cantidad de reactivo utilizado en la reacción se calcula la equivalencia de carbono orgánico presente en la muestra. Los autores incluyeron en la estimación de los valores de conversión de biomasa seca aérea en C orgánico a fuste, ramas, hojas y corteza como componentes arbóreos.

Los mismos autores generaron porcentajes de conversión general para el Bosque Siempreverde, los que son de 44,06% para la BSA y de 45,03% para la BSR. Estos últimos fueron utilizados en este estudio para las especies que no tuvieran definido el valor de conversión.

Se optó por utilizar los valores desarrollados por Gayoso *et al.* (2002) debido a que éstos fueron estimados exclusivamente para las especies pertenecientes al Bosque Siempreverde, por lo que se consideran más adecuados para este estudio.

Cuadro 5: Porcentaje de conversión de BSA y BSR en contenido de C orgánico para diferentes especies utilizados en este estudio (Gayoso *et al.*, 2002).

Especie	% conversión BSA en C orgánico	% conversión BSR en C orgánico
Canelo	45,49	44,69
Coigüe de Chiloé	44,55	43,75
Mañío Macho	45,89	44,07
Tepa	44,41	-
Tineo	42,96	-

Se aplicaron los porcentajes de conversión a los valores previamente estimados de BSA y BSR para cada individuo de la totalidad de las parcelas. De esta manera se estimó el contenido de C orgánico aéreo y radical de cada individuo muestreado en terreno, y por adición, el reservorio de C orgánico de la vegetación arbórea en cada parcela.

4.2.3.4 Derivación de variables bióticas: De los datos recopilados en terreno se derivaron las variables bióticas de Densidad total de cada parcela (individuos por ha), y contenido de C orgánico aportado por las especies Coigüe de Chiloé (C Coigüe de Chiloé) y Canelo (C Canelo). Estas especies fueron las únicas presentes en la totalidad de las parcelas, por lo tanto las únicas que pudieron ser utilizadas como variables dentro de este estudio.

Los valores registrados en cada una de las parcelas de las variables bióticas se encuentran en el Apéndice 3.

4.2.4 Análisis estadístico

Para determinar la existencia de algún tipo de relación entre el contenido de C orgánico y las variables abióticas (altitud, distancia a Inio, pendiente y exposición) y bióticas (composición florística) se realizaron una serie de análisis estadísticos utilizando el software R.

Estos casos de análisis se desarrollaron incluyendo la totalidad de los datos registrados en terreno, como también grupos de análisis en donde se excluyeron algunos datos registrados.

En todos los casos se realizaron los siguientes análisis estadísticos, separados por tipo de variable:

- Regresión simple para cada variable
- Regresión múltiple con varias combinaciones de variables
- Análisis stepwise con la totalidad de las variables

Por último se realizó un análisis stepwise con la totalidad de las variables registradas, tanto bióticas y abióticas para determinar las variables que explicaran de mejor forma el contenido de C orgánico de la vegetación arbórea viva.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Contenido de C orgánico y Composición florística

El contenido de C orgánico en la biomasa aérea y radicular (vegetación arbórea viva) varía entre los 5,5 y 1408,1 Mg ha⁻¹ para el Modelo Gayoso- Ortega, y los 5,2 y 1412,5 Mg ha⁻¹ para el Modelo Ortega. En el Cuadro 6 se muestra el contenido de C orgánico estimado por parcela para cada combinación de funciones utilizada y el estado de desarrollo de cada parcela.

Cuadro 6: Estimaciones de C orgánico para las combinaciones de estimación de Gayoso – Ortega y Ortega diferenciados por la condición de desarrollo del bosque en cada parcela.

Parcela	C Orgánico Modelo Gayoso – Ortega (Mg ha ⁻¹)	C Orgánico Modelo Ortega (Mg ha ⁻¹)	Tipo de Bosque
1	421,9	447,2	Maduro
2	170,3	169,6	Renoval adulto
3	260,6	259,4	Renoval adulto
4	96,6	97,6	Renoval adulto
5	202,2	250,3	Maduro
6	488,6	505,8	Maduro
7	8,7	9,9	Renoval juvenil
8	5,5	5,2	Renoval juvenil
9	366,5	376,8	Maduro
10	249,4	284,2	Maduro
11	7,8	7,5	Renoval juvenil
12	8,9	8,4	Renoval juvenil
13	1408,1	1412,5	Maduro
14	179,4	179,4	Renoval adulto
Promedio	276.8	286.7	

El promedio del contenido de C orgánico para cada situación de desarrollo de bosque se aprecia en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Promedio del C orgánico según el tipo de bosque para las combinaciones de estimación de Gayoso – Ortega y Ortega.

Tipo de Bosque	Promedio Gayoso – Ortega (Mg ha ⁻¹)	Promedio Modelo Ortega (Mg ha ⁻¹)
Renoval Juvenil	7,7	7,8
Renoval Adulto	176,7	176,5
Maduro	522,8	546,1

La combinación de funciones Modelo Ortega tiende a estimar mayores cantidades de C orgánico en las parcelas registradas. Esta mayor estimación se observa claramente en la situación de bosque Maduro, en donde el promedio del modelo Ortega supera en 4,5 % (23,3 Mg ha⁻¹) al de Gayoso – Ortega. Esto se encuentra influenciado por la presencia de una mayor cantidad de individuos adultos de Coigüe de Chiloé en la situación de Bosque Maduro. La función específica de estimación de la BSA del Coigüe de Chiloé está definida para el intervalo de 12 cm < DAP < 47 cm. Esto conlleva que cualquier valor sobre 47 cm sea estimado mediante las funciones generales, ya sea la de Gayoso *et al.* (2002) o la de Ortega (2002). Al comparar estas funciones para el caso particular del Coigüe de Chiloé en el intervalo común definido por ambos modelos generales (47 cm < DAP < 105 cm) se aprecia que constantemente el modelo general de Ortega (2002) estima mayores cantidades de C orgánico, en comparación con el modelo general de Gayoso *et al.* (2002).

El sesgo en el modelo de Ortega, evaluado mediante DIFA (Diferencia Agregada) presenta valores aceptables (ver Cuadro 3), pero con coeficientes negativos, lo cual implica una sobreestimación del contenido de BSA. Por otra parte esta función general de estimación de BSA no tiene un límite superior e inferior de DAP definido, por lo tanto actúa de manera menos específica que la función general de Gayoso *et al.* (2002). Lo anteriormente expuesto puede ser una de las causas de la estimación de mayores cantidades de C orgánico en el caso de bosque Maduro de la combinación Modelo Ortega comparado con el Modelo Gayoso – Ortega.

Debido a lo anterior y de forma de realizar un análisis más conservador en la estimación de los reservorios de C orgánico, se optó por realizar los diferentes análisis considerando sólo las estimaciones realizadas por el Modelo Gayoso – Ortega, excluyendo al Modelo Ortega.

5.1.1 Comparación de contenido de C con estimaciones en diferentes ecosistemas

El contenido de C orgánico estimado para la vegetación arbórea del sitio de estudio se compara en el Cuadro 8 con estimaciones de C en vegetación arbórea registrados en diferentes tipos de ecosistemas. Se observa que el contenido de C varía dependiendo del ecosistema que se analice, como también varía el aporte realizado por cada reservorio al contenido total de C del ecosistema tal como lo expresa Ajtay *et al.* (1979).

Para efectos de los análisis estadísticos de este estudio, en primera instancia se desarrollaron dos grupos de datos, el primero de ellos con la totalidad de las parcelas

registradas en terreno, denominado caso A. El segundo grupo de análisis se realizó con 13 parcelas. Este grupo de análisis se denominó caso B. La parcela excluida del análisis corresponde a la situación de bosque Maduro, por esto en el Cuadro 8 se muestran dos valores promedios para esta situación.

Cuadro 8: Comparación del C orgánico estimado en este estudio para cada estado desarrollo del bosque con contenido de C almacenado en la vegetación arbórea viva en diferentes ecosistemas.

Tipo de Bosque	Contenido de C (Mg ha ⁻¹)	Fuente
Renoval juvenil	7,7	Este estudio
Bosque caducifolio xerófilo	62,7 (57%)	Ajtay et al., 1979
Bosque Boreal en Pendiente. (Canadá)	81,4	Hazlett et al., 2005
Bosque Boreal Ribereño. (Canadá)	83,8	Hazlett et al., 2005
Bosque degradado de Pino-Roble (México)	85,8 (53%)	Ordoñez et al., 2008
Selva Tucumana Boliviana. (Argentina)	107,1 (58%)	Gasparri y Manghi, 2004
Bosque de Pino – Roble (México)	115,2 (57%)	Ordoñez et al., 2008
Bosque de Pino (México)	126,5 (57%)	Ordoñez et al., 2008
Bosque de Roble (México)	141,4 (54%)	Ordoñez et al., 2008
Selva Misionera. (Argentina)	165,1 (72%)	Gasparri y Manghi, 2004
Bosque de Abeto (México)	169,3 (63%)	Ordoñez et al., 2008
Renoval adulto	176,7	Este estudio
Bosque Boreal	200 (51%)	Ajtay et al., 1979
Bosque de Haya (España)	293	Merino et al., 2007
Bosque Templado Caducifolio	300 (66%)	Ajtay et al., 1979
Bosque Andino Patagónico (Argentina)	334,9 (69%)	Gasparri y Manghi, 2004
Bosque Maduro ¹	345,7	Este estudio
Bosque Tropical	450 (83%)	Ajtay et al., 1979
Bosque Maduro ²	522,8	Este estudio
(%). Porcentaje del C total del ecosistema almacenado en la vegetación arbórea viva.		
¹ Contenido de C orgánico promedio del bosque Maduro para el caso B		
² Contenido de C orgánico promedio del bosque Maduro para el caso A.		

Los valores promedios de C orgánico estimados en las diferentes situaciones de bosque en Inio se encuentran dentro del rango esperado al compararlos con valores existentes de C registrados en diferentes tipos de ecosistemas. Destaca el promedio de C orgánico para la situación de bosque maduro en el caso A (522,8 Mg ha⁻¹), al presentar el valor promedio más elevado de todas las estimaciones del contenido de C en los diferentes ecosistemas.

Al realizar estas comparaciones se advierte que el bosque Siempreverde en Inio tiene un gran potencial de almacenamiento de C orgánico en la vegetación arbórea, lo que demuestra el gran potencial de captura de CO₂ atmosférico que presentan las situaciones de bosque de Renoval juvenil y Renoval adulto, el cual debiera ser estudiado con mediciones temporales en los mismos sitios de muestreo para conocer el flujo de CO₂ existente entre la vegetación arbórea y la atmósfera.

El porcentaje de C total del ecosistema contenido en la vegetación arbórea varía entre los 51% y 83% para los estudios citados, esto demuestra la importancia de calcular los reservorios de C del suelo, el mantillo vegetal y la necromasa para obtener en mayor detalle la importancia del ecosistema en el almacenamiento de C y el potencial de captura de CO₂ atmosférico.

5.1.2 Composición Florística

Para identificar la influencia de la composición florística en la cantidad de C orgánico estimado, se realizó en cada parcela un análisis de la diversidad de especies arbóreas registradas con DAP superior a 3 cm.

Se identificaron 15 especies diferentes de vegetación arbórea en las parcelas registradas (Cuadro 9).

Cuadro 9: Especies arbóreas presentes en cada parcela.

	Arrayán	Canelo	Ciprés de las Guaitucas	Coigüe de Chiloé	Fuinque	Mañío Macho	Luma	Meli	Notro	Olivillo	Sauco	Tepa	Tepú	Tiaca	Tineo
Parcela 1	X	X		X	X	X				X	X	X	X		
Parcela 2	X	X				X	X	X	X	X			X	X	X
Parcela 3	X	X		X			X						X	X	
Parcela 4	X	X				X	X						X	X	
Parcela 5	X	X						X			X			X	
Parcela 6	X	X		X				X			X			X	
Parcela 7	X	X									X			X	X
Parcela 8	X	X											X		X
Parcela 9	X	X						X			X			X	
Parcela 10	X	X						X			X			X	
Parcela 11	X	X	X	X	X				X				X	X	X
Parcela 12	X	X	X	X				X					X	X	X
Parcela 13	X	X	X		X			X			X			X	
Parcela 14	X	X						X			X				

Coigüe de Chiloé y Canelo presentaron una frecuencia del 100%. *Amomyrtus meli* (Meli) y Tiaca encontraronse en un 78,6 y 85,7% de las parcelas, respectivamente. Tepa se encontró en un 57,1% de las parcelas y Tepú en 50% de las parcelas. Mañío Macho y Tineo se encontraron en un 35,7% de las parcelas. Las especies *Embothrium coccineum* (Notro), *Pseudopanax laetevirens* (Sauco) y *Lomatia ferruginea* (Fuinque) se encontraron

en un 14,2% de las unidades de muestreo. *Luma apiculata* (Arrayán), Ciprés de las Guaitecas y *Aextoxicon punctatum* (Olivillo) se encontraron presente tan sólo en un 7,1% de las parcelas.

La composición florística varía de acuerdo al estado del bosque, en la situación de renoval juvenil es más frecuente encontrar especies como Tineo y Tepú, en Bosque Maduro aparecen preferentemente individuos de Tapa, Meli y Tiaca, y en la situación de Renoval adulto se hace mas frecuente la presencia de individuos de Tepú, Meli y Tiaca. Las especies Canelo y Coigüe de Chiloé muestran una presencia transversal al tipo de bosque estudiado, siendo representativa en la totalidad de las parcelas.

5.1.3 Contenido de C orgánico por especie

La densidad de individuos varía dependiendo de la situación de bosque registrado, siendo menor en la situación de renoval juvenil y alcanzando el mayor valor para la situación de renoval adulto. La composición florística también varía dependiendo de la situación de bosque analizado. Estas variaciones sugieren que el contenido de C orgánico es aportado en diferentes medidas por las diferentes especies en las distintas situaciones de bosque.

En la Figura 7 se aprecia el aporte de cada especie en el contenido de C orgánico para las 14 parcelas registradas en terreno.

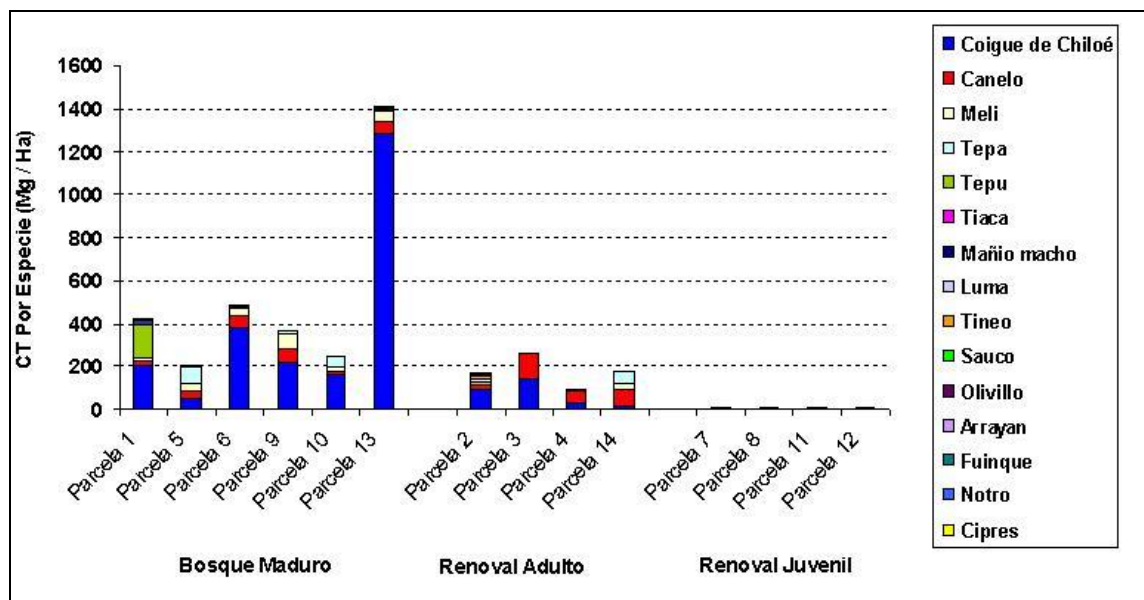


Figura 7: Contribución por especie de C orgánico (Mg ha^{-1}) para cada parcela.

Se observa un marcado dominio en el aporte de C orgánico de la especie Coigüe de Chiloé en cada parcela. Esta elevada contribución se aprecia de mejor manera en las parcelas que presentan valores más elevados de C orgánico. Estas parcelas son principalmente las que

presentan un estado de desarrollo mayor, correspondiendo a la situación de Bosque Maduro. Esto tiene estricta relación con la edad del bosque, ya que estas parcelas presentan una dominancia en el dosel superior de individuos adultos de Coigüe de Chiloé que presentan valores de DAP y por ende de biomasa muy elevados.

La especie Canelo presenta un aporte en el contenido de C orgánico importante en las 14 parcelas registradas. Destaca el aporte de la especie Tepú en la parcela número 1 y el de la especie Tapa en las parcelas 5, 10 y 14. La especie Meli registra valores importantes de C orgánico en las parcelas 5, 9 y 13. Las restantes especies no figuran de manera importante en el aporte del contenido de C orgánico, constituyendo en conjunto un aporte de 3,23%

Para destacar el aporte en el contenido de C orgánico de las diferentes especies se realizó un análisis en donde puede observarse el aporte porcentual de cada especie en el contenido de C orgánico en cada parcela (Figura 8).

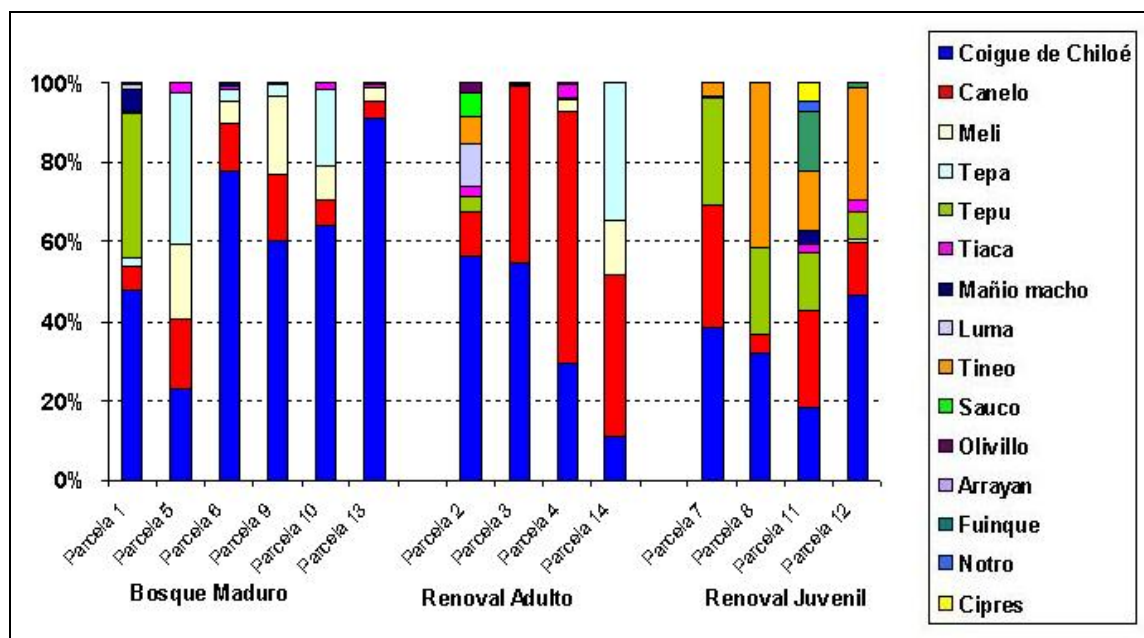


Figura 8: Contribución porcentual por especie de C orgánico en cada parcela.

Las especies Coigüe de Chiloé y Canelo, en combinación generan un aporte superior al 35% en todas las parcelas, alcanzando valores superiores al 90% en las parcelas 3, 4 y 13.

Porcentualmente la especie Tineo registra los valores más elevados en su contribución al contenido de C orgánico en las parcelas 8, 11 y 12, estas corresponden a la situación de bosque de Renoval juvenil Tineo presenta aportes porcentuales marginales en las parcelas 2 y 7, que corresponden a la situación de Renoval adulto y Renoval juvenil y no presenta aportes en el contenido de C orgánico en parcelas de Bosque Maduro. La especie Tepú otorga una elevada contribución porcentual del contenido de C orgánico en las parcelas 1, 7

y 8; la primera de ellas corresponde a la situación de bosque Maduro y las 2 siguientes a la situación de renoval juvenil.

La dominancia observada del Coigüe de Chiloé en el aporte de C orgánico en cada parcela se destaca en mayor medida al realizar un análisis porcentual del aporte de cada especie al total de C orgánico. El gráfico con los porcentajes por especies del aporte al total de C orgánico estimado se aprecia en la Figura 9.

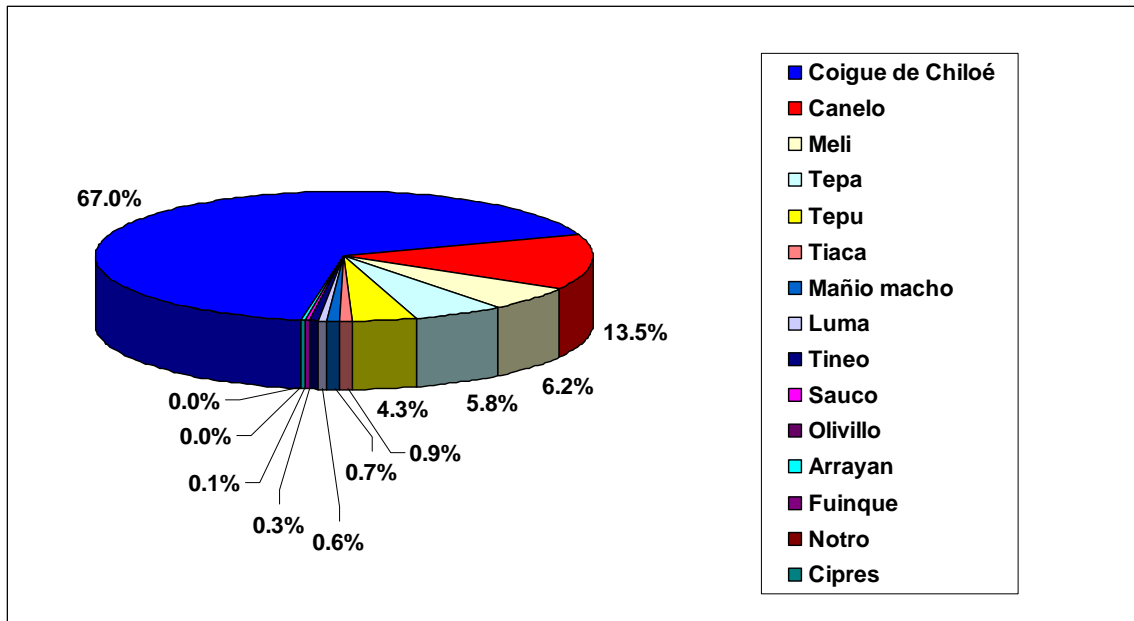


Figura 9: Porcentaje por especie del aporte total de C orgánico de todas las parcelas

El total del C orgánico estimado para las parcelas registradas está mayoritariamente determinado por el aporte de 5 especies, las cuales generan el 96,77 % del contenido total de C orgánico, éstas son: Coigüe de Chiloé, Canelo, Meli, Tapa y Tepú. Las restantes 10 especies registradas en terreno generan un aporte marginal de sólo el 3,23% del C orgánico estimado; sus porcentajes de C orgánico aportado varían entre los 0,01% y los 0,86%.

Porcentualmente el contenido de C orgánico aportado por Coigüe de Chiloé y Canelo en cada parcela varía entre los 36,6% y los 99,1%. Al realizar este análisis para la totalidad del contenido de C orgánico estimado, el aporte de estas dos especies porcentualmente alcanza el 80,5%, lo cual sugiere que el contenido total de C orgánico estimado para cada parcela está fuertemente influenciado por el aporte realizado por estas dos especies.

5.2 Densidad de individuos

Los valores de densidad (individuos/ha) por parcela separada por el tipo de bosque se muestran en el Cuadro 10. El promedio de la densidad fue de 1288 individuos ha^{-1} .

Al realizar este análisis por tipo de bosque registrado da como resultado para el renoval juvenil el promedio de 870 individuos ha^{-1} , para el renoval adulto y bosque maduro los valores promedio son 1588 y 1530 individuos ha^{-1} respectivamente.

Cuadro 10: Densidad vegetacional de individuos en cada parcela, catalogado según estado de desarrollo del bosque.

Parcela	Densidad (Individuos ha^{-1})	Tipo de Bosque
1	2370	Maduro
2	960	Renoval adulto
3	3450	Renoval adulto
4	890	Renoval adulto
5	1380	Maduro
6	1460	Maduro
7	760	Renoval juvenil
8	510	Renoval juvenil
9	950	Maduro
10	1060	Maduro
11	550	Renoval juvenil
12	680	Renoval juvenil
13	1960	Maduro
14	1050	Renoval adulto

La cantidad de individuos registrados en las parcelas varía de manera importante dependiendo de la especie, estas diferencias se pueden observar en la Figura 10.

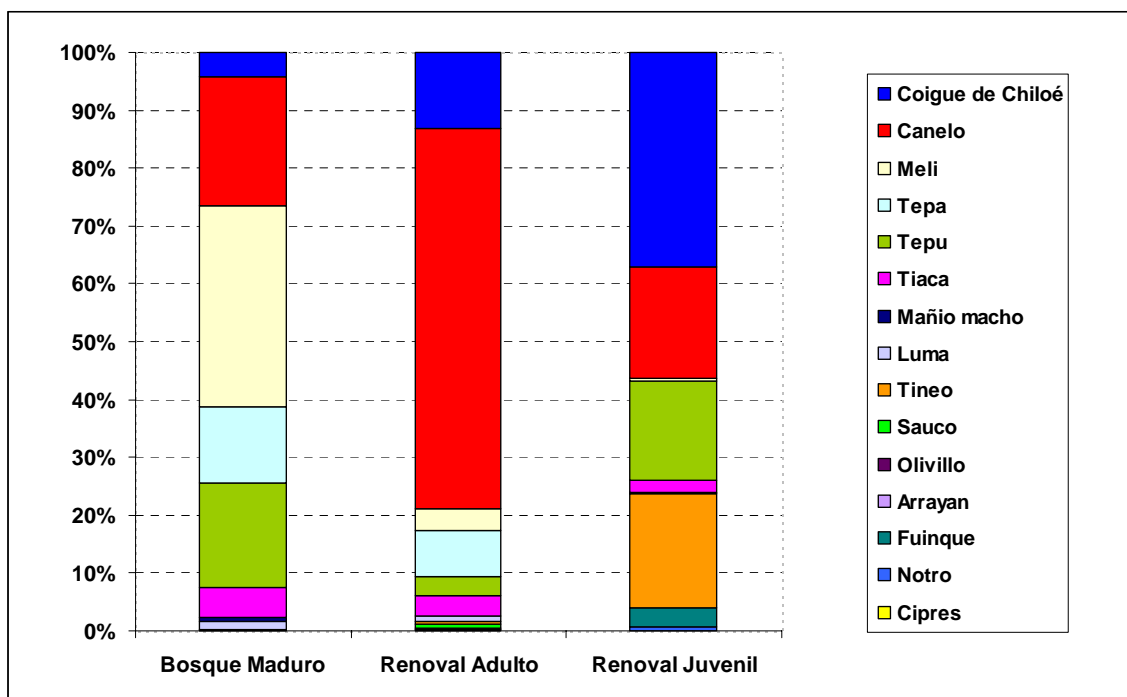


Figura 10: Porcentaje de individuos por especie registrados en la totalidad de las parcelas según tipo de bosque.

El número de individuos registrados fue de 1803, de los cuales 918 corresponde a Bosque Maduro, 635 a Renoval Adulto y 250 a Renoval Juvenil.

Se registraron individuos de las especies Canelo y Coigüe de Chiloé en la totalidad de las parcelas, debido a esto fue posible estimar el valor de densidad promedio de estas especies, siendo de 47,9 Individuos/Parcela para el Canelo y de 15,3 individuos/parcela para el Coigüe de Chiloé.

5.3 Contenido de C orgánico por especie y situación de bosque

El contenido de C orgánico varía considerablemente en cada parcela, lo cual se debe principalmente al estado de desarrollo del bosque, el cual determina la composición florística de la parcela registrada y el tamaño de los individuos. Debido a estas consideraciones se analizó la variación del contenido de C orgánico por especie en los diferentes estados de desarrollo del bosque presente en las parcelas registradas en terreno.

5.3.1 Contenido C orgánico en Renoval juvenil

Esta situación de bosque es una sucesión producto de un incendio forestal ocurrido en un sector del área de estudio. Se registraron 4 parcelas en esta situación de bosque renoval juvenil, estas se caracterizaron por la abundante presencia de helechos y arbustos y por la existencia en general de individuos juveniles que en su mayoría no sobrepasaron los 7 cm de DAP. El contenido de C orgánico para estas parcelas varió entre los 5,5 y los 8,9 Mg ha⁻¹, la riqueza vegetal para estas parcelas consiste en 10 especies, siendo las más abundantes las especies de Coigüe de Chiloé, Canelo y Tineo con un 37,2%, 19,2%, y 19,1 % del total de individuos registrados, respectivamente.

En la Figura 11 se aprecia el contenido de C orgánico aportado por las diferentes especies y el análisis porcentual de este aporte en las cuatro parcelas con situación de bosque renoval juvenil.

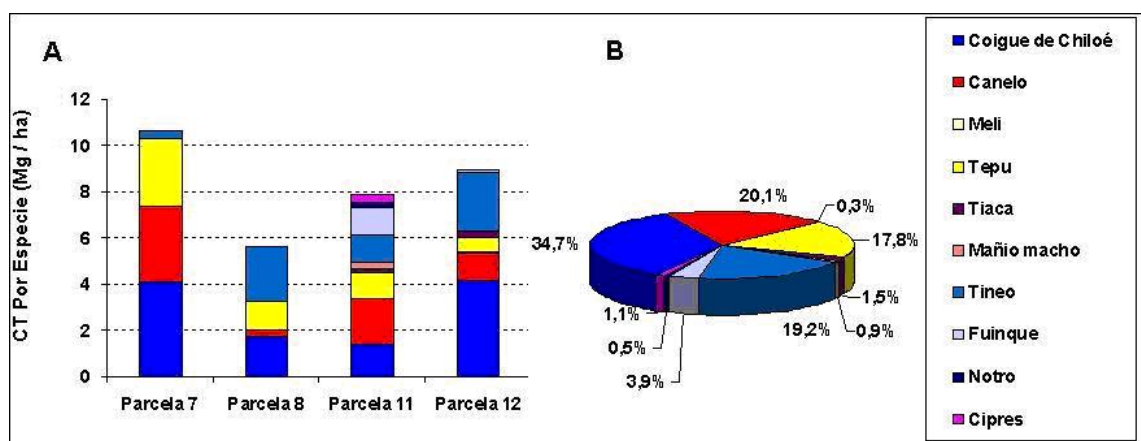


Figura 11: A) Aporte por especie de C para las parcelas con situación de renoval juvenil. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas con situación de renoval juvenil.

El promedio de estas cuatro parcelas en situación de bosque renoval juvenil es de 7,72 Mg ha⁻¹. Se aprecia una gran variabilidad en el aporte de C orgánico de las diferentes especies, siendo las más determinantes el Coigüe de Chiloé y el Canelo. El aporte de estas especies en conjunto varía entre los 36,4% y 69,1% del contenido total de C orgánico.

Las especies Tineo y Tepú se registraron en todas las parcelas de esta situación de bosque, aportando en conjunto el 37% del contenido de C orgánico, siendo en esta situación de bosque en donde alcanzan el mayor aporte porcentual del contenido de C orgánico.

La situación de bosque de Renoval juvenil difiere considerablemente en el aporte por especies del contenido de C orgánico con respecto al promedio general de la totalidad de las parcelas.

La especie Tepú tiene una participación importante dentro de este segmento de parcelas al aportar el 17,8% del contenido total de C orgánico, lo cual contrasta notoriamente con su

participación en el contenido de C orgánico estimado para la totalidad de las parcelas, la que alcanza solo el 4,27%.

Esta situación de bosque no presenta un dominio considerable de alguna especie en el aporte de C orgánico. Existe un aporte homogéneo de cuatro especies (Coigüe de Chiloé, Canelo, Tineo y Tepú) las cuales aportan el 91,8% del contenido de C orgánico de la totalidad de las parcelas en situación de bosque Renoval juvenil.

5.3.2 Contenido C orgánico en Renoval adulto

Se registraron cuatro parcelas en la situación de renoval adulto. El contenido de C orgánico para esta situación de bosque varía entre los 96,6 y los 260,6 Mg ha⁻¹, alcanzando un promedio de 176,72 Mg ha⁻¹. Se registraron 11 especies diferentes en estas parcelas, siendo las más abundantes Canelo y Coigüe de Chiloé con una participación de 66,5% y 13,1%, respectivamente (Figura 12).

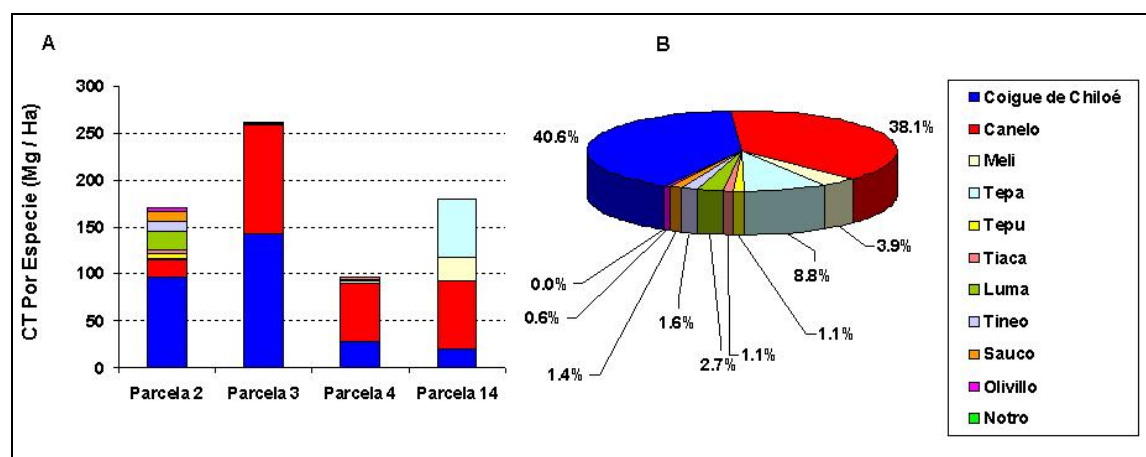


Figura 12: A) Aporte por especie de C orgánico para las parcelas con situación de Renoval adulto. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas en situación de Renoval adulto.

En esta situación destaca el contenido de C orgánico aportado por Canelo, el cual se equipara y en algunas parcelas supera al C de Coigüe de Chiloé. Estas especies en conjunto siguen siendo las que aportan el mayor porcentaje del contenido de C orgánico, el cual varía entre los 51,84% y 99,13%.

El aporte de C orgánico de las demás especies es marginal, destacando tan solo la cantidad aportada por la especie Tepa contribuyendo con el 8,76% del contenido de C orgánico en esta situación de bosque.

El aporte de C orgánico en la situación de renoval adulto se encuentra dominada por las especies Canelo y Coigüe de Chiloé, las cuales aportan el 78,77%. Las especies Tepa y

Meli aportan conjuntamente el 12,68 %, las restantes 7 especies aportan tan sólo el 8,55% del total de C orgánico para esta situación.

5.3.3 Contenido C orgánico en Bosque Maduro

Se registraron seis parcelas en la situación de Bosque Maduro, el contenido de C orgánico para ésta situación varía entre los 202,2 y los 1408,1 Mg ha⁻¹. La composición florística consiste en 10 especies, siendo las más abundantes las especies de Meli y Canelo con un 34,8% y 22,2%, respectivamente, del total de individuos registrados.

En la Figura 13 se aprecia el contenido de C orgánico aportado por las diferentes especies y el análisis porcentual de este aporte en las seis parcelas con situación de bosque Maduro.

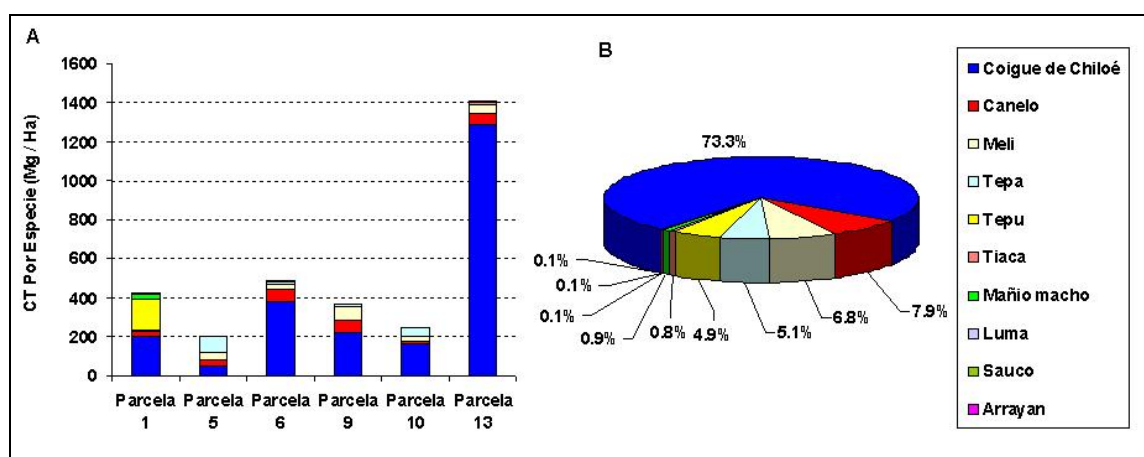


Figura 13: A) Aporte por especie de C orgánico para las parcelas con situación de bosque Maduro. B) Aporte porcentual por especie de C orgánico para las parcelas con situación de bosque Maduro.

El contenido de C orgánico promedio en la situación de Bosque Maduro es de 523,1 Mg ha⁻¹. Se observa una marcada dominancia de la especie Coigüe de Chiloé en el aporte del contenido de C orgánico en cada parcela, representando un 73,3%, valor que supera al promedio de la totalidad de las parcelas que alcanza el 67,0%. Las demás especies aportan porcentualmente valores bajos de C orgánico; Canelo aporta el 7,9% del contenido de C orgánico, lo que contrasta con el aporte porcentual de esta especie en la totalidad de las parcelas, el cual alcanza el 13,5 %. Pese a la fuerte influencia que tiene el Coigüe de Chiloé en la cantidad de C orgánico en esta situación, esta especie sólo tiene el 4,24% de los individuos registrados en bosque Maduro.

5.4 Análisis de Regresiones

A continuación se describen los resultados de los diferentes análisis estadísticos realizados en el estudio, tanto para las variables abióticas, bióticas (composición florística) y para la combinación de ambos tipos de variables.

Se consideraron en primera instancia dos grupos de datos, el primero de ellos con la totalidad de las parcelas registradas en terreno, denominado caso A. El segundo grupo de análisis se realizó con 13 parcelas, excluyendo una parcela que presentaba un valor de C orgánico estimado que superaba a la media en más de 3 veces la desviación estándar de los datos. Este grupo de análisis se denominó caso B.

5.4.1 Variables abióticas

Las regresiones simples de las variables abióticas, para los dos casos de análisis no explicaron satisfactoriamente el contenido de C orgánico en la biomasa arbórea. En el Cuadro 11 se aprecian los coeficientes de determinación (R^2) de las regresiones simples para las variables abióticas en los dos casos de análisis.

Cuadro 11: Resultados de la regresión simple de las variables abióticas y el contenido de C orgánico de la biomasa arbórea para los casos A y B.

Variable Abiótica	R^2 Caso A	R^2 Caso B
Altitud	0,22	0,38
Pendiente	0,15	0,03
Radiación	0,04	0,08
Distancia Inio	0,13	0,58

La variable Distancia a Inio presenta el mayor valor de correlación (R^2 0,575, caso B). Esta variable se registró en base a la hipótesis de que la intervención antrópica en el bosque nativo, especialmente por extracción de leña ocurriría con mayor intensidad en las cercanías del centro poblado, determinando de esta manera una situación en donde a mayor distancia se encontrarían bosques menos intervenidos, que presentarían valores de C orgánico más elevados. La función de la regresión simple arrojó un coeficiente negativo para esta variable, lo cual se traduce en que a mayor distancia a Inio existe un menor contenido de C orgánico. Esto se explica porque las cuatro parcelas con situación de bosque de renoval juvenil fueron las que se registraron a una mayor distancia de Inio, siendo estas parcelas las que presentaron menores valores de C orgánico estimado por su estado de desarrollo. Debido a esto los resultados arrojan la existencia de una relación ficticia entre la variable Distancia a Inio y el contenido de C orgánico. Por esta última razón, esta variable fue eliminada del análisis estadístico posterior.

Los resultados de las regresiones múltiples con varias combinaciones de variables abióticas tampoco explicaron el contenido de C orgánico estimado. Los R^2 ajustados variaron entre

0,001 y los 0,237 para el caso A, y entre los 0,002 y 0,370 para el caso B. Al realizar un análisis de Stepwise para el caso A, quedaron seleccionadas las variables de Pendiente y Altitud como las mejores predictoras del contenido de C orgánico. Para el caso B este análisis determinó que la variable predictora del fenómeno era solo Altitud. Los modelos determinados por este análisis y sus R^2 ajustados se observan en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Modelos determinados por el análisis Stepwise para las variables abióticas en los casos A y B.

Caso	Modelo	R^2 ajustado
A	$694,48 - 22,01 \times \text{Pendiente} - 3,11 \times \text{Altitud}$	0,31
B	$307,9 - 1,64 \times \text{Altitud}$	0,32

La variable Altitud posee un coeficiente negativo, la relación entre la altitud y el contenido de C orgánico se encuentra fuertemente influenciada por las 4 parcelas con situación de renoval juvenil, debido a que éstas son las parcelas registradas a mayor altitud. Debido a esto se optó por eliminar de los análisis de regresión posteriores a esta variable.

5.4.2 Variables bióticas

Los resultados de las regresiones simples para las variables bióticas versus C biomásico presentaron mejores coeficientes de correlación que las variables abióticas, existiendo una mejor explicación del contenido de C orgánico. Los resultados de estas regresiones para los 2 casos de análisis de las variables bióticas se observan en el cuadro 13.

Cuadro 13: Resultados de la regresión simple de las variables bióticas para los caso A y B

Variable Biótica	R^2 Caso A	R^2 Caso B
Densidad	0,20	0,32
C Canelo	0,11	0,26
C Coigüe de Chiloé	0,97	0,88

El contenido de C orgánico estimado para cada parcela está profundamente relacionado con la cantidad de C orgánico aportado por la especie Coigüe de Chiloé. En el caso A se aprecia una relación bastante elevada manifestada en el R^2 (0,97), sin embargo, esta relación está fuertemente influenciada por la parcela numero 13, la cual presenta el contenido de C orgánico más elevado ($1408,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) y en donde el 91,47% ($1288,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) del C orgánico es aportado por la especie Coigüe de Chiloé. Al excluir esta parcela del análisis (caso B) el C orgánico aportado por Coigüe de Chiloé sigue explicando en gran medida ($R^2 = 0,88$) el contenido de C orgánico del reservorio de vegetación arbórea viva.

El análisis Stepwise determinó para las variables bióticas que las mejores predictoras del contenido de C orgánico para ambos casos de análisis son C Coigüe de Chiloé y Densidad. Los modelos determinados por este análisis y sus R^2 ajustados se observan en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Modelos determinados por el análisis Stepwise para las variables bióticas en los casos A y B.

Caso	Modelo	R ² ajustado
A	$26,80 + 1,015 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,04 \times \text{Densidad}$	0,97
B	$21,24 + 1,21 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,03 \times \text{Densidad}$	0,88

Las variables bióticas en combinación no representan una mejora con respecto a C Coigüe Chiloé. Las variables bióticas captan de mejor manera las diferencias de la vegetación arbórea en las diferentes situaciones de bosque que se registraron en este estudio, por esto explican de mejor manera el contenido de C.

5.4.3 Combinación de variables bióticas y abióticas

Al realizar un análisis Stepwise con las variables bióticas y abióticas, excluyendo las variables altitud y distancia a Inio, este seleccionó a C Coigüe de Chiloé, C Canelo, Densidad y Pendiente para ambos casos de análisis como las mejores predictoras del contenido de C orgánico. Los modelos de regresión múltiple para ambos casos de análisis arrojados por el Stepwise se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Modelos determinados por el análisis Stepwise para ambos tipos de variables en los casos A y B, excluyendo la variable Altitud.

Caso	Modelo	R ² ajustado
A	$62,49 + 0,94 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,96 \times C \text{ Canelo} + 0,04 \times \text{Densidad} - 5,80 \times \text{Pendiente}$	0,98
B	$56,23 + 1,05 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,87 \times C \text{ Canelo} + 0,03 \times \text{Densidad} - 5,4 \times \text{Pendiente}$	0,92

El análisis Stepwise seleccionó a la variable C Canelo como predictora del contenido de C orgánico, sin embargo la densidad del Canelo alcanza el valor de 47,9 individuos por parcela, lo cual implica un mayor trabajo en la obtención de este dato. En el Cuadro 16 se observa los modelos obtenidos para ambos casos de análisis al realizar una regresión múltiple excluyendo la variable C Canelo.

Cuadro 16: Modelos determinados por el análisis Stepwise para ambos tipos de variables en los casos A y B, excluyendo la variable Altitud y C Canelo.

Caso	Modelo	R ² ajustado
A	$56,5 + 0,96 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,07 \times \text{Densidad} - 4,86 \times \text{Pendiente}$	0,98
B	$50,2 + 1,11 \times C \text{ Coigüe de Chiloé} + 0,06 \times \text{Densidad} - 4,51 \times \text{Pendiente}$	0,90

Los modelos previamente descritos son los que mejor se ajustan al contenido de C orgánico en el sitio de estudio para ambos casos de análisis. Al excluir la variable C Canelo se pierde un pequeño porcentaje de la explicación del fenómeno. Esto se aprecia en la disminución

de los R^2 ajustados para ambos casos de análisis, sin embargo se reduce considerablemente el tiempo del muestreo, debido a que sólo es necesario registrar el DAP de la especie Coigüe de Chiloé. De esta manera, se dejarían de registrar en promedio 113 individuos por parcela, ya que el valor promedio de Densidad es de 128,9 y por lo tanto se simplificaría de manera considerable la medición.

Se realizó el test de normalidad de Shapiro Wilks para los residuales de los modelos del cuadro 15 en ambos casos de análisis. Para los dos casos el p value $> 0,1$; infiriéndose entonces que los residuales tienen un comportamiento normal. En la Figura 14 se muestran los residuales de los modelos determinados en este estudio (Cuadro 16) para el caso A y B.

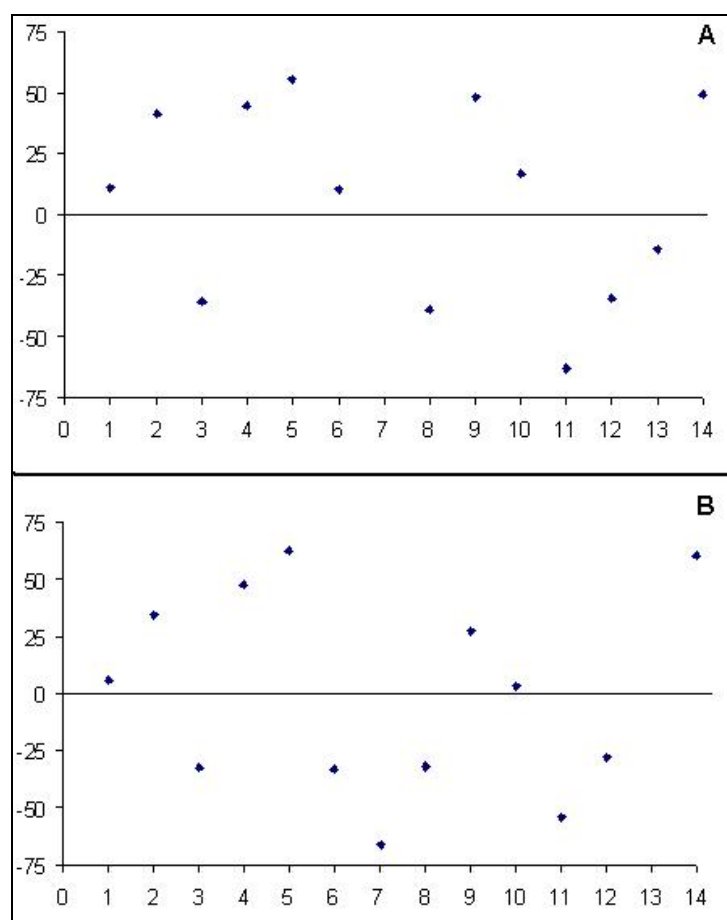


Figura 14: A) Residuales del modelo multivariado para el caso A. B) Residuales del modelo multivariado para el caso B.

Se observa en la figura que los residuales oscilan entre los -75 y 55 Mg ha^{-1} en cada una de las parcelas registradas. Los valores más cercanos a 0 y por lo tanto con un menor error en la estimación, corresponde a las parcelas 1, 6, 10 y 13 para el caso A, y las parcelas 1 y 10 en el caso B, todas estas corresponden a la situación de bosque Maduro.

Por el contrario los mayores errores en la estimación del C orgánico por parte del modelo ocurre en las parcelas 7 y 11, las cuales corresponden a la situación de Renoval juvenil, en donde el valor de los residuales supera los -60 Mg ha^{-1} y los 70 Mg ha^{-1} , respectivamente. El promedio del C orgánico estimado a partir del muestreo en terreno para esta situación de bosque es de $7,72 \text{ Mg ha}^{-1}$, los valores promedios para esta situación arrojados por el modelo en los casos de análisis A y B corresponden a $60,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ y $52,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

Este modelo arroja como promedio para la situación de bosque Maduro el valor de $501,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ para el caso A, mientras que el valor promedio estimado a partir del muestreo en terreno para esta situación es de $523,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Para el caso B el modelo arroja como promedio el valor de $332,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, mientras que el valor promedio del registro en terreno para esta situación de bosque es de $353,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Por lo tanto este modelo subestima el contenido de C orgánico en comparación al estimado a partir del muestreo en terreno para la situación de Bosque Maduro en un $4,09\%$ para el caso A y en un $5,92\%$ para el caso B.

En segunda instancia y debido a los elevados valores de residuales que presentaba el modelo anterior, principalmente para las parcelas con la situación de renoval juvenil, se desarrolló un análisis stepwise para un nuevo conjunto de datos. Este nuevo grupo abarcó las parcelas de Bosque Maduro y Renoval adulto.

El análisis stepwise seleccionó para este nuevo caso como variables predictoras del fenómeno a C Coigüe Chiloé, Pendiente y Densidad. En el Cuadro 17 se observa el modelo encontrado para este nuevo grupo de análisis.

Cuadro 17: Modelo determinado por el análisis stepwise para la situación de análisis que contiene los datos registrados en Bosque Maduro y Renoval adulto.

Modelo	R ² Ajustado
$135,9 + 0,92 * \text{C Coigüe de Chiloé} - 5,67 * \text{Pendiente} + 0,04 * \text{Densidad}$	0,99

Se realizó el test de normalidad de Shapiro Wilks para los residuales de este modelo. Se obtuvo un $p \text{ value} > 0,05$: infiriéndose entonces que los residuales tienen un comportamiento normal. En la Figura 15 se muestra los residuales del modelo determinado para este caso de análisis.

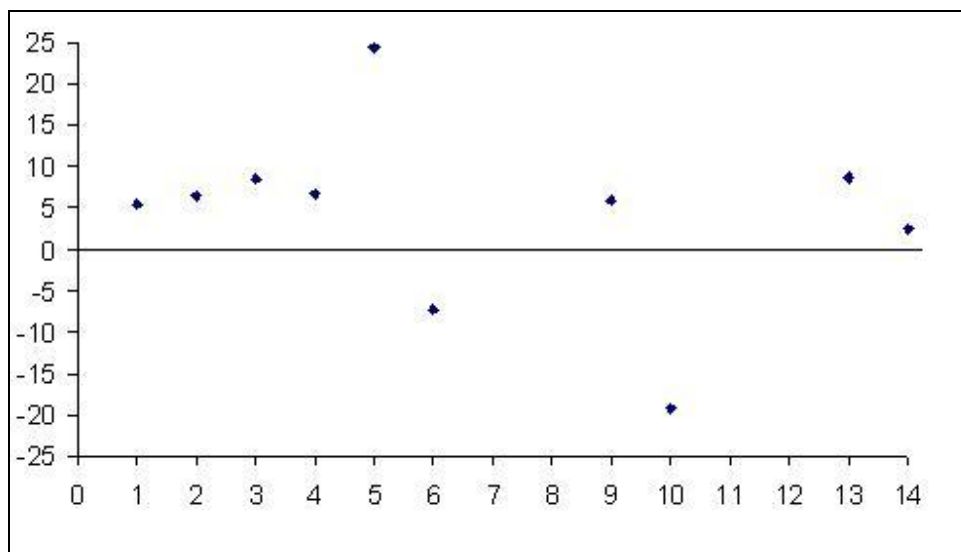


Figura 15: Residuales del modelo que considera solamente a las parcelas de bosque maduro y renoval adulto.

Este modelo presenta una ligera mejora con respecto a los anteriores modelos descritos, la cual puede apreciarse en el R^2 (0,99). Además se observa en el modelo una reducción considerable de los residuales los cuales oscilan entre los -20 y 25 Mg ha^{-1} , sin embargo ocho de estos datos se encuentran entre los -10 y 10 Mg ha^{-1} .

El nuevo modelo descrito arroja como promedio de C para este nuevo caso de análisis el valor de $384,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, siendo el promedio estimado en terreno de $378,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ para este conjunto de parcelas. Lo cual representa una sobreestimación del 1,5%.

Para la situación de renoval adulto este modelo arroja como contenido de C el valor promedio de $171,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, siendo el promedio estimado a partir del muestreo en terreno para esta situación el valor de $176,7$. Para la situación de bosque maduro considerando todas las parcelas (Caso A) este modelo arroja el valor de $516,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ como promedio del contenido de C, siendo para esta situación el valor estimado a partir del muestreo en terreno de $523,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, y para el bosque maduro excluyendo una parcela (Caso B) arroja como promedio de contenido de C el valor de $342,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, siendo el valor promedio estimado a partir del muestreo en terreno para este caso de $345,7 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Este modelo subestima el contenido de C orgánico para la situación de renoval adulto en un 3,1%. Para la situación de bosque maduro este modelo subestima en un 1,1% y 0,9% en el caso A y B, respectivamente.

6. CONCLUSIONES

Las variables bióticas no explican por si solas ni en combinación el contenido de C orgánico estimado en las parcelas, por lo tanto no puede determinarse dicho contenido mediante sistemas geomáticos sólo considerando estas variables. Se hace necesario registrar el contenido de C orgánico en la vegetación arbórea en un mayor número de parcelas en las diferentes situaciones de desarrollo del bosque particularmente en las situaciones de renoval juvenil.

Los resultados de los análisis estadísticos, considerando las variables bióticas y abióticas, sugieren que los modelos generados pueden utilizarse para la estimación del contenido de C orgánico, sin embargo es necesario constatar que estos modelos operen de buena forma en las situaciones de bosque Maduro y Renoval. Por el contrario, en la situación de bosque Renoval post incendio el modelo presenta una marcada sobreestimación del contenido de C orgánico comparado con lo estimado a partir del muestreo en terreno, por lo tanto no se recomienda su utilización en esta situación de bosque.

El modelo de estimación del contenido de C orgánico en la vegetación arbórea encontrado en este estudio para las situaciones de bosque Maduro y Renoval adulto reduce de manera considerable el trabajo realizado en terreno para la obtención de estos valores. Con el modelo propuesto sólo es necesario registrar la variable DAP de los individuos de Coigüe de Chiloé, registrar la Densidad vegetacional de la unidad de muestreo y la Pendiente de la parcela. De esta manera se dejan de registrar el DAP de alrededor de 125 individuos por parcela, registrando en promedio sólo unos 15 individuos de Coihue de Chiloé por parcela.

El contenido de C orgánico de la vegetación arbórea viva varía dependiendo del ecosistema en el cual se realiza la estimación, también varía el porcentaje del C orgánico del total del ecosistema contenido en la vegetación arbórea. Es fundamental realizar las estimaciones del C orgánico almacenado en los reservorios de suelo, necromasa y mantillo vegetal en la zona de estudio, con el fin de conocer el contenido de C orgánico total del ecosistema analizado.

Los resultados de las estimaciones de C orgánico para las diferentes situaciones de desarrollo de bosque registrado sugieren una gran importancia en la protección de los bosques del área de estudio, principalmente el bosque Maduro, esto por el grado de C orgánico almacenado en la vegetación arbórea. A su vez, estos resultados demuestran la importancia de conservar y realizar planes de manejo apropiados en las áreas que presentan la situación de bosque de Renoval adulto y Renoval juvenil por su gran potencial de fijación de CO₂ atmosférico.

Las estimaciones de C orgánico realizadas en las diferentes situaciones de bosque sugieren que existe un gran potencial de fijación de CO₂ atmosférico por parte de la vegetación arbórea de este ecosistema, por lo tanto resulta fundamental generar actividades de

reforestación en las zonas degradadas presentes dentro del área de estudio con la vegetación característica del bosque Siempreverde.

7. REFERENCIAS

- Ajtay, G.L., Ketner, P. y Duvigneaud, P. 1979. Terrestrial primary production and phytomass. En: *The global carbon cycle*. Degens E. T., Kempe S., Ketner P. (ed.), New York, Estados Unidos, John Wiley. SCOPE, vol. 13, 129-181.
- Alley, R., Berntsen, T., Bindoff, N., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J., Hegerl, G., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocher, T., Stouffer, R., Whetton, P., Wood, R. y Wratt, D. 2007. *The Physical Science Basis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 77p
- Corporación ChileAmbiente. 2005. Plan de Acción Parque Tantauco. Santiago. Chile 191 pp.
- CONAMA. 2002. Estrategia Regional para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad, Décima Región de Los Lagos. 156pp.
- Coomes, D., Allen, R., Scott, N., Goulding, C. y Beets, P. 2002. Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management* 164: 89–108.
- Donoso, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo N°. 38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF, PNUD-FAO) (Publicación FAO Chile).
- Gajardo, R. 1994. *La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165p.
- Gayoso, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1): 1-13
- Gayoso, J., Guerra, J. y Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. 157p
- Hazlett, P.W., Gordon, A.M., Sibley, P.K. y Buttle, J.M. 2005. Stand carbon stocks and soil carbon and nitrógeno storage for riparian and upland forests of boreal lakes in northeastern Ontario. *Forest Ecology and Management* 219: 56–68
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Land-use change and forestry. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Capítulo 5).

Kim Phat, N., Knorr W. y Sophanarith, K.. 2004. Appropriate measures for conservation of terrestrial carbon stocks—Analysis of trends of forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* 191(1-3): 283-299

Luebert, F. y P. Pliscoff, 2005. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Ed. Universitaria, Santiago. 315p.

Merino, A., Real, C., Alvarez-Gonzalez, J.G y Rodríguez-Gutián, M.A. 2007. Forest structure and C stocks in natural *Fagus sylvatica* forest in southern Europe: The effects of past management. *Forest Ecology and Management* 250: 206–214.

Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M. y Meyer, L. 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 66 p

Ordoñez, J.A.B., de Jong, B.H.J., García-Oliva, F., Aviña, F.L., Pérez, J.V., Guerrero, G., Martínez, R y Maser, O. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255: 2074–2084

Ortega, A. 2002. Funciones de biomasa Bosque Siempre Verde. En: Gayoso, J., Guerra, J. y Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. 157p

Richter, D.D., Markewitz, D., Dunsomb, J.K., Wells, C.G., Stuanes, A., Allen, H.L., rrego, B., Harrison, K., Bonani, G. 1995. Carbon cycling in a loblolly pine forest: implications for the missing carbon sink and for the concept of soil. In: McFee, W.W., Kelly, J.M. (Eds.), *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 233– 251.

Schimel, D.S., *et al.* 2001. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature* 414(6860): 169-172.

APENDICE

Apéndice 1. Código de macro en Visual Basic para la estimación de BSA

```
Private Sub Aplicate_Click()
```

```
Dim prueba As String
```

```
Dim i As Integer
```

```
'Dim total As Double
```

```
suma = 0
```

```
total = 0
```

```
For J = 1 To 14
```

```
  i = 4
```

```
  Do While Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 2) <> ""
```

```
    Select Case Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 2)
```

```
      Case "Tepú"
```

```
        If Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) > 5 And Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) < 30 Then
```

```
          Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(2.5502 + 0.1207 * Worksheets("Parcela " &
```

```
J).Cells(i, 3))
```

```
          total = total + Exp(2.5502 + 0.1207 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```
        ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) >= 30 And Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) <
```

```
105 Then
```

```
          Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = 0.0839 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) *
```

```
Exp(2.4567)
```

```
          total = total + 0.0839 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) * Exp(2.4567)
```

```
        ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) <= 5 Then
```

```
          Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(2.08 + 0.154 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i,
```

```
3))
```

```
          total = total + Exp(2.08 + 0.154 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```
        ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) >= 105 Then
```

```
          Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(4.481 + 0.051 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i,
```

```
3))
```

```
          total = total + Exp(4.481 + 0.051 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```
        End If
```

```
      suma = suma + 1
```

```
    Case "Canelo"
```

```
      If Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) > 6 And Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) < 52 Then
```

```
        Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = -5.73651 + Exp(3.25257 + 0.07943 *
```

```
Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```
        total = total + (-5.73651 + Exp(3.25257 + 0.07943 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3)))
```

```
      ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) < 6 Then
```

```
        Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(2.08 + 0.154 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i,
```

```
3))
```

```
        total = total + Exp(2.08 + 0.154 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```
      ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) = 6 Then
```

```
        Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(2.5502 + 0.1207 * Worksheets("Parcela " &
```

```
J).Cells(i, 3))
```

```
        total = total + Exp(2.08 + 0.154 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
```

```

ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) >= 52 And Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) <
105 Then
    Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = 0.0839 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) *
Exp(2.4567)
    total = total + 0.0839 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) * Exp(2.4567)
ElseIf Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3) >= 105 Then
    Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 4) = Exp(4.481 + 0.051 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i,
3))
    total = total + Exp(4.481 + 0.051 * Worksheets("Parcela " & J).Cells(i, 3))
End If

suma = suma + 1

```

El código mencionado anteriormente se repite para todas las especies que tuvieran funciones definidas, cambiando tan solo los valores de la función y los intervalos de aplicación.

Apendice 2. Tabla de parcelas con los respectivos valores de las variables abioticas y coordernada de ubicación.

Parcelas	Altitud (m s.n.m)	Pendiente (°)	Radiacion Anual (KWH/M ²)	Distancia Inio (m)	Coordenada UTM 18 - s
1	10	0	101	650	571876 E 5198413 N
2	52	17,5	96	940	572348 E 5198442 N
3	18	27	98	550	569970 E 5198695 N
4	25	19	103	510	569873 E 5198389 N
5	47	10	107	620	572603 E 5199603 N
6	32	8,7	105	400	572352 E 5199783 N
7	223	5,7	110	5110	571301 E 5207173 N
8	161	10	104	4520	571625 E 5206530 N
9	75	3	93	655	572360 E 5198888 N
10	63	10	95	520	572334 E 5199048 N
11	104	5	101	3660	571424 E 5205690 N
12	85	13	100	3140	571333 E 5205168 N
13	15	0	99	1460	571080 E 5203437 N
14	7	3,4	99	740	572019 E 5198411 N

Apéndice 3. Tabla de parcelas con los respectivos valores de las variables bióticas y coordenada de ubicación.

Parcelas	C Coigüe de Chiloé	C Canelo	Densidad	Coordenada UTM 18 - s
1	211,4	25,6	2370	571876 E 5198413 N
2	101,1	18,7	960	572348 E 5198442 N
3	149,5	114,9	3450	569970 E 5198695 N
4	29,8	61,4	890	569873 E 5198389 N
5	49,5	34,3	1380	572603 E 5199603 N
6	382,9	57,1	1460	572352 E 5199783 N
7	4,3	3,3	760	571301 E 5207173 N
8	1,9	0,3	510	571625 E 5206530 N
9	232,0	60,7	950	572360 E 5198888 N
10	167,5	16,4	1060	572334 E 5199048 N
11	1,5	1,9	550	571424 E 5205690 N
12	4,4	1,2	680	571333 E 5205168 N
13	1349,5	52,0	1960	571080 E 5203437 N
14	20,7	72,8	1050	572019 E 5198411 N