

# VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA Y LOS RESIDUOS LEÑOSOS GRUESOS EN BOSQUES DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE Y COIGÜE-RAULÍ-TEPA, EN EL CENTRO-SUR DE CHILE.

Bernardo Pilquinao Ñanculaf \*. Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales.  
[bernardo.pilquinao@uach.cl](mailto:bernardo.pilquinao@uach.cl). Teléfono: +56-63-221593. Valdivia, Chile.

Bastienne Caroline Schlegel Heldt. Ingeniero Forestal, Estudiante de Doctorado. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. [bcschlegel@gmail.com](mailto:bcschlegel@gmail.com)

Oscar Alfredo Thiers Espinoza. Ingeniero Forestal, Doctor en Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. [othiers@uach.cl](mailto:othiers@uach.cl)

## Resumen

Se estudió la variación del contenido de carbono almacenado ( $t \text{ hectárea}^{-1} = \text{Mg ha}^{-1}$ ) en bosque nativo de los tipos forestales siempreverde y coigüe-raulí-tepa, localizados en el centro-sur de Chile. Este trabajo estimó la acumulación de carbono presente en la biomasa aérea y residuos leñosos gruesos (RLG) en diferentes estructuras de bosque: de segundo crecimiento, adultos y una combinación de ambos (bosque mixto). La cantidad de biomasa se obtuvo utilizando parcelas de inventario temporales ( $37^{\circ}40' - 41^{\circ}01' \text{ S}$ ), con rangos de elevaciones entre 50 y 1.170 m snm. Con los datos de inventario y utilizando funciones alométricas, se determinó el peso seco de la biomasa arbórea. La estimación de los RLG, se realizó a través del método de líneas de intersección, obteniendo información del diámetro y estado de descomposición de los troncos, además en cada rodal se estimó el grado de intervención antrópica presente.

El carbono acumulado en la biomasa aérea y RLG, se obtuvo empleando un factor conversión estandarizado. La acumulación de carbono fue mayor en bosques de coigüe-raulí-tepa con  $465 \text{ Mg ha}^{-1}$ , y menor en siempreverde con  $286 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Para la estructura del bosque, la acumulación de carbono fue mayor en formaciones de bosque adulto del tipo coigüe-raulí-tepa con  $522 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Los bosques sin intervención aparente registran  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , lo que representa sólo el 28% del carbono acumulado en bosques intensamente intervenidos. Los niveles de carbono estimados tanto para la biomasa aérea como RLG, son superiores a los niveles registrados en otros bosques en regiones templadas.

**Palabras claves:** tipos forestales, biomasa aérea, residuos leñosos gruesos, carbono acumulado.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los análisis realizados para mitigar el riesgo del cambio climático global, se han centrado principalmente en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero (GEI). No obstante, también existe un potencial importante para almacenar estos gases en los ecosistemas forestales, como un medio alternativo para compensar el efecto de las emisiones actuales y futuras (Stavins and Richards, 2005). En este sentido, los bosques como sistema natural complejo, contribuyen a mitigar el cambio climático, almacenar carbono en la biomasa vegetal y en el suelo, e intercambiar carbono con la atmósfera a través de los procesos fotosintéticos y de respiración (Gasparri y Manghi, 2004).

De este modo, la estimación de la biomasa de un bosque es fundamental para determinar los volúmenes de carbono almacenado en distintos tipos de bosque, además de determinar los montos potenciales de carbono que pueden ser liberados a la atmósfera, y las superficies óptimas de bosque que debieran ser conservados para alcanzar los compromisos de mitigación (Brown et al., 1996)

En el presente estudio se estima la acumulación de carbono en la biomasa aérea y en los residuos leñosos gruesos (RLG) de diferentes tipos de bosque para los tipos forestales siempreverde y coigüe-raulí-tepa localizados en la zona centro-sur de Chile.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Caracterización del área de estudio

La información de las parcelas y transectos se obtuvo de muestreos realizados en bosques del tipo forestal siempreverde y coigüe-raulí-tepa, distribuidos desde los 37°40' a los 41°01' de latitud sur y entre los 71°22' y 73°44' de longitud oeste. El rango altitudinal varió entre 50 a 1.170 m snm. El clima para esta zona, corresponde al tipo templado lluvioso con influencia mediterránea, con rangos de precipitaciones que van de 1.500 a 4.000 mm anuales y temperaturas medias de 11°C. Los suelos son mayormente de origen volcánico (Andisoles) también conocidos como trumaos, de buen drenaje y alta fertilidad y suelos rojo arcilloso (Ultisoles).

Los bosques del tipo forestal siempreverde se distribuyen desde los 40°30' a los 47° sur, por debajo de los 1.000 m snm. en la Cordillera de los Andes y desde los 38°30' hasta los 47° sur aproximadamente, en la Cordillera de la Costa. Poseen una gran riqueza florística, donde las especies más comunes son *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus nítida*, *Eucryphia cordifolia*, *Weinmannia trichosperma*, *Amomyrtus luma*, *Drimys winteri* y *Caldcluvia paniculata*. Por su parte, el tipo forestal coigüe-raulí-tepa se distribuye desde los 37° hasta 40°30' sur, en la Cordillera de Los Andes y desde los 38° a los 40°30' sur, en la Cordillera de La Costa. Este tipo forestal se caracteriza por la presencia constante de *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus nervosa* y *Laurelia philippiana* (Donoso, 1981).

## Biomasa arbórea y de residuos leñosos gruesos

Para el análisis de los datos, se contó con información proveniente de 140 parcelas y 20 transectos para el tipo siempreverde y 62 parcelas y 16 transectos para el tipo coigüe-raulí-tepa. Las parcelas tenían una superficie variable de 250, 300, 500 y 1000 m<sup>2</sup>, mientras que los transectos tenían una longitud de 100 metros cada uno. En los transectos, se consideraron los troncos interceptado con un diámetro mínimo de 10 cm y una longitud mayor a 1,5 m.

En las parcelas se determinaron las siguientes variables; especie, dap, altura, tipo de estructura arbórea y tipo de bosque. El peso seco de la biomasa arbórea se obtuvo mediante el empleo de funciones alométricas (Drake et al., 2003; Gayoso et al., 2002; y Schlegel, 2001). Estas funciones son ajustadas para cada especie y generalmente emplean como variables predictoras la altura total y el dap. El resultado del empleo de estas funciones, entregó información del peso seco (kg) de la biomasa a nivel de árbol, lo cual fue llevado a Mg ha<sup>-1</sup> por nivel de estructura y tipo forestal.

Para la estimación del volumen de los RLG, se empleó el método de líneas de intersección o transectos (Warren and Olsen, 1964). Las variables que emplea este método corresponden a la longitud del transecto y el diámetro de los troncos, utilizándose la siguiente ecuación:

$$V = \left( \frac{\pi^2}{8 * L} \right) * \sum d^2$$

Dónde:

V: volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

d<sup>2</sup>: diámetro de cada tronco (cm).

L: Longitud del transecto (m).

Los RLG fueron clasificados según el grado de descomposición y asociados a una densidad básica promedio (g cm<sup>-3</sup>) para cada categoría (Cuadro 1). El volumen de la biomasa ponderado por su respectiva densidad, permitió obtener el peso seco de la biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>).

Cuadro 1. Categorías de descomposición de RLG (Schlegel y Donoso, 2008).

Categoría	Características	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )
Baja	Material que no presenta signos de descomposición.	0,51
Intermedia	Material que visualmente presenta indicios de descomposición	0,36
Alta	Material descompuesto pero que aún mantiene la forma original de caída.	0,25

## Grado de intervención antrópica de los bosques

Este análisis, se realizó exclusivamente en bosques donde existía información tanto de parcelas como de transectos, con el fin de analizar la acumulación de carbono en bosques con distintos grados de intervención antrópica (Cuadro 2). Los rodales se evaluaron en terreno, mediante un análisis visual y considerando variables como; presencia y características de tocones, evidencia de cortas e incendios forestales, evidencia de manejo forestal, densidad, calidad, cobertura de copas y presencia de ganado.

Cuadro 2. Pauta para definir el grado de intervención (Fondef D9711065, 1998)

<b>Grado de Intervención</b>	<b>Definición</b>
Alteración no aparente	Sin signos evidentes de intervención antrópica (explotación de madera, pastoreo, etc.)
Floreo antiguo moderado	Extracción parcial de árboles de interés comercial (dominantes y de mejor calidad) realizada hace más de 5 años.
Floreo Antiguo intenso	Extracción sistemática de árboles de interés comercial realizado hace más de 5 años, dejando un rodal empobrecido, con problemas para regenerar y sin valor futuro
Floreo reciente moderado	Extracción parcial de los árboles de interés comercial realizado hace menos de 5 años.
Floreo reciente intenso	Extracción sistemática de árboles de interés comercial realizado hace menos de 5 años, dejando un rodal empobrecido, con problemas para regenerar y sin valor futuro.
Raleo	Extracción efectuada con criterios silvícolas.
Incendio o quema parcial	Bosque que presenta <75% de árboles dañados por el fuego
Incendio o quema total	Bosque que presenta >75% de los árboles dañado por efecto del fuego.

## Estimación del carbono almacenado

La información de la biomasa total ( $Mg\ ha^{-1}$ ) proporcionada por las parcelas y los transectos, permitió obtener finalmente el carbono almacenado, a nivel de tipo forestal, de estructura del bosque y según el grado de intervención. El factor de conversión de biomasa a carbono corresponde a 0,5 que es la que recomienda el IPCC (1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estimación del carbono almacenado

El tipo forestal coigüe-raulí-tepa registró una mayor acumulación de carbono en la biomasa aérea y en RLG, con un promedio de 465 Mg ha<sup>-1</sup>. Mientras, que una menor acumulación se registró en bosques siempreverde, con 286 Mg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Esta variación, tiene directa relación con el tipo de estructura que caracteriza a cada tipo de bosque, en donde el tipo forestal coigüe-raulí-tepa, puede presentarse exclusivamente como bosque adulto o bosque mixto, alcanzando volúmenes brutos de hasta 800 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, mientras que el tipo siempreverde puede encontrarse formando bosques secundarios y donde los volúmenes medios varían entre 300 y 400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Donoso, 1981). En ambos tipos forestales se registró un aporte promedio similar de los RLG cercano al 10% del carbono total estimado. De este modo, mientras más alto sea el carbono total, mayor será el aporte de los RLG, no obstante, en términos porcentuales ambos tipos forestales realizan aportes similares.

Para todos los casos, se registró una variación significativa del carbono estimado, donde los coeficientes de variación varían entre 40 y 70%, con un amplio margen entre valores mínimos y máximos. Esto se debe a la gran diversidad de tipos de bosques que es posible encontrar en cada tipo forestal y los distintos grados de desarrollo e intervención que presentan.

Cuadro 3. Acumulación de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) por tipo forestal.

Tipo forestal	Tipo de biomasa	Carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )					
		Media	Min	Max	n	Desv. Estándar	Coef. Variación (%)
Siempreverde	Biomasa aérea	266	2	1124	140	190	71
	RLG	20	3	50	20	15	73
	Total	286					
	RLG (%)	7					
Coigüe-raulí-tepa	Biomasa aérea	426	149	887	62	195	46
	RLG	39	7	94	16	24	61
	Total	465					
	RLG (%)	8					

Los resultados obtenidos en bosques siempreverdes fueron similares a los obtenidos por Gayoso (2001), quien registró estimaciones de 389 y 212 Mg ha<sup>-1</sup> en bosques ubicados en la Cordillera de los Andes y de la Costa respectivamente. En tanto, en RLG la acumulación está bajo el promedio de 12,4% obtenido por este autor en ambas cordilleras. En relación a otros tipos de bosque, las estimaciones para ambos tipos forestales fueron superiores a los obtenidos en bosques subtropicales, los cuales registran rangos medios entre 95 y 147 Mg ha<sup>-1</sup> en el carbono total (Gasparri y Manghi, 2004). No obstante, el aporte de los RLG fue menor al 11% registrado por estos autores.

## Variación del carbono según la estructura del bosque

La mayor acumulación de carbono total se registró en bosque adulto de coigüe-raulí-tepa, con 522 Mg ha<sup>-1</sup>, y la menor acumulación se registró en bosque secundario siempreverde, con 153 Mg ha<sup>-1</sup>. Mientras que el bosque mixto, para ambos tipos forestales, obtuvo acumulaciones menores que el bosque adulto y mayores que los bosques secundarios. Esto, permite concluir que independiente del tipo forestal, la mayor acumulación de carbono, generalmente se registra en bosque adulto, debido principalmente al mayor estado de desarrollo y estado sucesional que posee, además de una mayor diversidad de especies, con dos o tres estratos arbóreos y un estrato superior dominante con individuos de grandes diámetros y alturas, lo cual se traduce en elevados volúmenes de madera y biomasa arbórea. En tanto, el mayor y menor aporte de carbono de los RLG, corresponden a 12% y 3% registrados en bosques secundarios y mixtos respectivamente, ambos en el tipo forestal siempreverde.

Cuadro N° 5. Variación del carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) según la estructura del bosque.

Tipo de estructura	Media	Min	Max	n	Desv. Est.	Coef. Var (%)
<b>Bosque secundario siempreverde</b>						
Biomasa aérea	153	2	512	73	102	67
RLG	22	3	50	10	16	76
Total	174					
Aporte de RLG (%)	12					
<b>Bosque adulto siempreverde</b>						
Biomasa aérea	434	76	1124	27	229	53
RLG	24	9	50	6	15	62
Total	458					
Aporte de RLG (%)	5					
<b>Bosque mixto siempreverde</b>						
Biomasa aérea	359	123	741	40	147	41
RLG	12	5	22	4	8	71
Total	370					
Aporte de RLG (%)	3					
<b>Bosque adulto coigüe-raulí-tepa</b>						
Biomasa aérea	484	212	844	22	190	39
RLG	38	7	94	8	32	85
Total	522					
Aporte de RLG (%)	7					
<b>Bosque mixto coigüe-raulí-tepa</b>						
Biomasa aérea	394	149	887	40	193	49
RLG	39	19	60	8	17	43
Total	434					
Aporte de RLG (%)	9					

Existe un amplio rango entre los valores mínimos y máximos tanto en el carbono almacenado en la biomasa aérea como en RLG (Figura 1), producto de la gran diversidad de tipos de bosques existentes. Aún, en un mismo tipo de bosque existen variaciones en cuanto al contenido de carbono presente. Algunos de los factores que influyen directamente en estas variaciones, son el estado de desarrollo, un manejo silvícola inadecuado, presencia de ganado, problemas fitosanitarios, restricciones de suelo, entre otros.

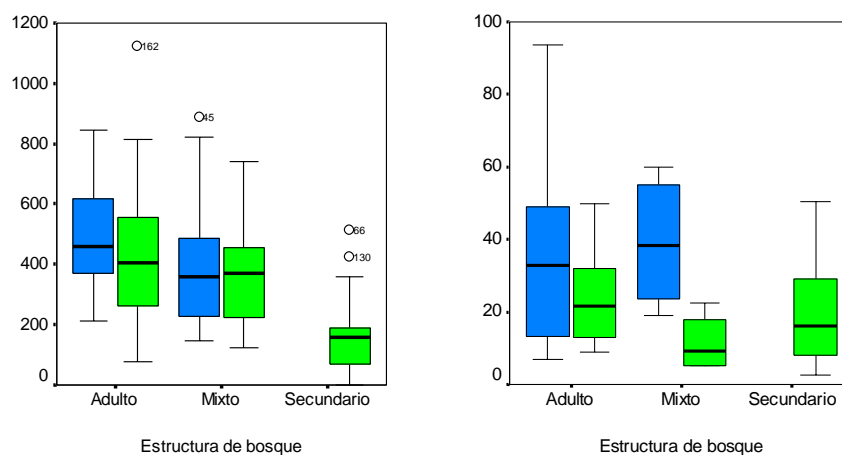


Figura 1. Variación del carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), según estructura de bosque y tipo forestal. Color azul tipo forestal coigüe-raulí-tepa y en verde tipo forestal siempreverde.

Según estudios realizados en bosques tropicales, la variación del carbono presente en la biomasa aérea varía de  $60$  a  $230 \text{ Mg ha}^{-1}$  en bosques primarios y de  $25$  a  $190 \text{ Mg ha}^{-1}$  en bosques secundarios (Kanninen, 2000). De acuerdo a ello, los resultados obtenidos en el presente estudio, reflejan que existe una acumulación de carbono superior en los bosques adultos, mientras que en bosques secundarios la acumulación estaría dentro del rango estudiado para bosques tropicales.

### Variación del carbono según el grado de intervención

Los bosques que en épocas recientes han estado sometidos a manejos silviculturales inadecuados (entresaca selectiva o floreo), registran las mayores acumulaciones de carbono de RLG con más de  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$ , representando más de un 15% del carbono total estimado (Figura 2). Esto se debe, a que en estas situaciones se extraen los mejores individuos del bosque y de ellos las mejores trozas, dejando una gran cantidad de residuos que no son utilizados en el corto plazo, ya que el objetivo inmediato es obtener madera de mejor calidad.

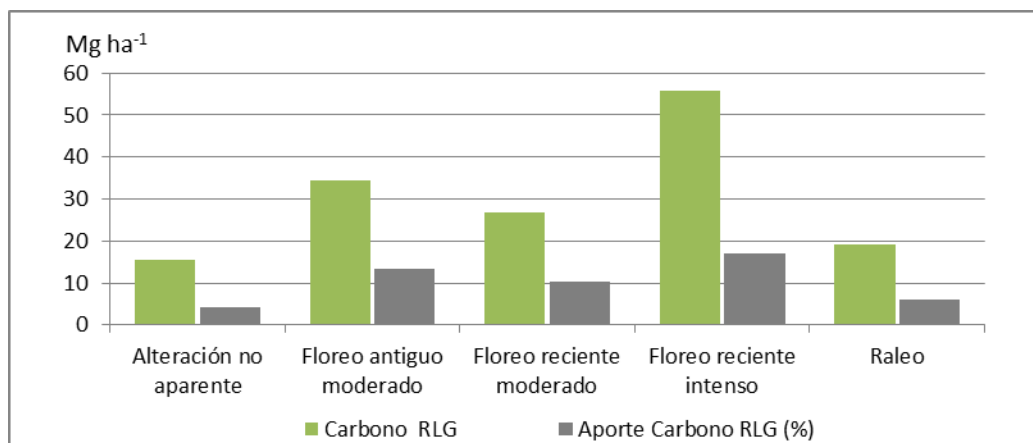


Figura 2. Variación del carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), según el grado de intervención.

Los bosques que presentan un manejo silvicultural inadecuado en cualquiera de sus categorías, registran acumulaciones de carbono superiores a 25 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que acumulaciones menores a 20 Mg ha<sup>-1</sup> se registran en bosques manejados y también en bosques sin intervención, en este último caso, la cantidad de carbono proviene exclusivamente de residuos leñosos que han caído en forma natural. En general, aquellos bosques donde se han realizado entresacas selectivas, extrayendo los individuos de mejor calidad, mantienen una mayor cantidad de RLG y por consiguiente una mayor acumulación de carbono, comparado a un bosque sin intervención o con un manejo forestal adecuado.

## **CONCLUSIONES**

En bosques del tipo forestal siempreverde se registró una acumulación de 286 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono, mientras que en el tipo coigüe-raulí-tepa, el carbono almacenado alcanzó niveles mayores, con 465 Mg ha<sup>-1</sup>. En ambos casos, el aporte de los RLG fue inferior al 10% del total estimado.

Según la estructura del bosque, se registró una mayor acumulación de carbono en bosque adulto de coigüe-raulí-tepa, con 522 Mg ha<sup>-1</sup> y una menor acumulación con 174 Mg ha<sup>-1</sup> en bosque secundario siempreverde.

Los bosques intensamente intervenidos registraron una mayor acumulación de carbono en los RLG, comparados con bosques sin intervención. No obstante, en un bosque fuertemente intervenido se puede disminuir considerablemente el volumen de la biomasa, y a pesar de acumular mayores cantidades de carbono en los RLG, el bosque pierde capacidad para fijar y almacenar dióxido de carbono en los demás componentes arbóreos y el suelo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este estudio agradecen al Proyecto Bio+Energía, Fondef D08I1056, por su aporte para el desarrollo y presentación de este trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Brown S, J Sathaye, M Cannell, P Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonw. For. Rev.* 75 (80 - 91)
- Donoso C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. CONAF-FAO. Documento de trabajo N° 38. Santiago de Chile. 70p.
- Drake F, P Emanuelli, E Acuña. 2003. Compendio de funciones dendrométricas del bosque nativo. Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. Universidad de Concepción. Chile. 197 p.
- Fondef D9711065. 1998. Procedimientos de medición de parcelas de inventario del catastro. Proyecto software simulador de Nothofagus. Universidad Austral de Chile. 20p.



- Gasparri I, E Manghi. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales Argentinas. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina. 26p.
- Gayoso J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Universidad Austral de Chile. 22p.
- Gayoso J, J Guerra, D Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto Fondef D9811076. Universidad Austral de Chile. 53p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, UK). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. México City. 16p.
- Kanninen M. 2000. Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. II Conferencia Electrónica Agroforestería para la Producción Animal. (FAO-CIPAV). (99 – 109) Consultado en Julio, 2011. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y4435s/y4435s02.pdf>
- Schlegel B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad Austral de Chile. 13 p.
- Schlegel B, Donoso P. 2008. Effects of forest type and stand structure on coarse woody debris in old-growth rainforests in the Valdivian Andes, south-central Chile. *Forest Ecology and Management* 255: 1906-1914
- Stavins R, K Richards. 2005. The cost of U.S. forest-based Carbon Sequestration. Pew Center on Global Climate Change. U.S. 40 p.
- Warren WG, PF Olsen. 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science*, 10: 267-276.