

Estimación del carbono contenido en los ecosistemas de la Patagonia chilena

Diciembre, 2019



Programa
Austral
Patagonia
Universidad Austral de Chile



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza

Austral Patagonia es un programa de la Universidad Austral de Chile que **busca mejorar el estatus de conservación** en los ecosistemas terrestres y marinos de la Patagonia chilena.



Autores

Jorge Pérez Quezada

Macarena Moncada

Patricio Barrales

Fotografía

Nicolás Muñoz – CBA-UACH

Cita bibliográfica:

Programa Austral Patagonia. (2019).
Estimación del carbono contenido en los
ecosistemas de la Patagonia chilena.
Universidad Austral de Chile - Valdivia, Chile.
27 páginas

La información contenida en este documento es de propiedad del Programa Austral Patagonia, y su uso para fines académicos u otros, debe citar correctamente la fuente.

Email: programaaustralpatagonia@uach.cl
www.programaaustralpatagonia.cl

Introducción

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero que afecta el equilibrio radiativo de la Tierra, contribuyendo al cambio climático (IPCC, 2013). A través de la fotosíntesis, el carbono que compone dicho gas es capturado en la biomasa vegetal y depositado en el suelo (Burbano-Orjuela, 2018), siendo este último las mayores reservas de carbono (C) presente en la vegetación y la atmósfera (FAO, 2017).

El C presente en la biomasa vegetal y en el suelo puede perderse en forma de CO₂ o metano (FAO, 2017), por efecto de perturbaciones como cambio de uso de suelo, en especial la deforestación (Mas & Flamenco-Sandoval, 2011). Debido a esto, el estudio del contenido de C de los distintos ecosistemas contribuye a generar información relevante para los esfuerzos en mitigación y adaptación al cambio climático.

La Patagonia chilena ha estado expuesta a perturbaciones que pueden generar cambios en los distintos ecosistemas, modificando las reservas de carbono en biomasa y en suelo; las principales causas son los incendios (intencionales o accidentales) que pueden convertir bosques en estepas matorrales, el pastoreo y las especies invasoras como el castor (Jaksic & Fariña, 2015).

El presente estudio tuvo como objetivo estimar la cantidad de carbono almacenada en los ecosistemas de la Patagonia chilena, considerando como zona de estudio la provincia de Llanquihue (Región de Los Lagos), y la totalidad de las regiones de Aysén y Magallanes. Se realizó una estimación del contenido de C en los distintos ecosistemas, tanto en biomasa como en el suelo, utilizando como base los usos/coberturas de suelo definidos por CONAF.

Metodología

Área de estudio

El estudio fue realizado para la Provincia de Llanquihue, Región de los Lagos y en la totalidad de las regiones de Aysén y Magallanes, como se presenta en la Figura 1. De acuerdo a la clasificación de Köppen, estas zonas comprenden climas variados, un clima marítimo lluvioso en el sur de la Región de Los Lagos y la zona oeste de la Región de Aysén; un clima estepárico frío en la zona este de las regiones de Aysén y Magallanes; y un clima de tundra en la zona oeste de la Región de Magallanes.

En cuanto a las formaciones vegetacionales, de acuerdo con el Catastro Vegetacional de CONAF para las regiones de Los Lagos (CONAF, 2013), Aysén (CONAF, 2011) y Magallanes (CONAF, 2005); la provincia de Llanquihue, en la Región de los Lagos, está dominada ampliamente por bosque nativo, principalmente siempreverde, además de praderas y matorrales; en la Región de Aysén, domina el bosque nativo siempreverde y de lenga; en la Región de Magallanes dominan las turberas y praderas-matorrales, con presencia de estepas. Debido a que algunas clases incluidas en el Catastro corresponden a usos de suelo (e.g., terrenos agrícolas, plantaciones), el análisis se realizó por uso/cobertura de suelo (UCS).

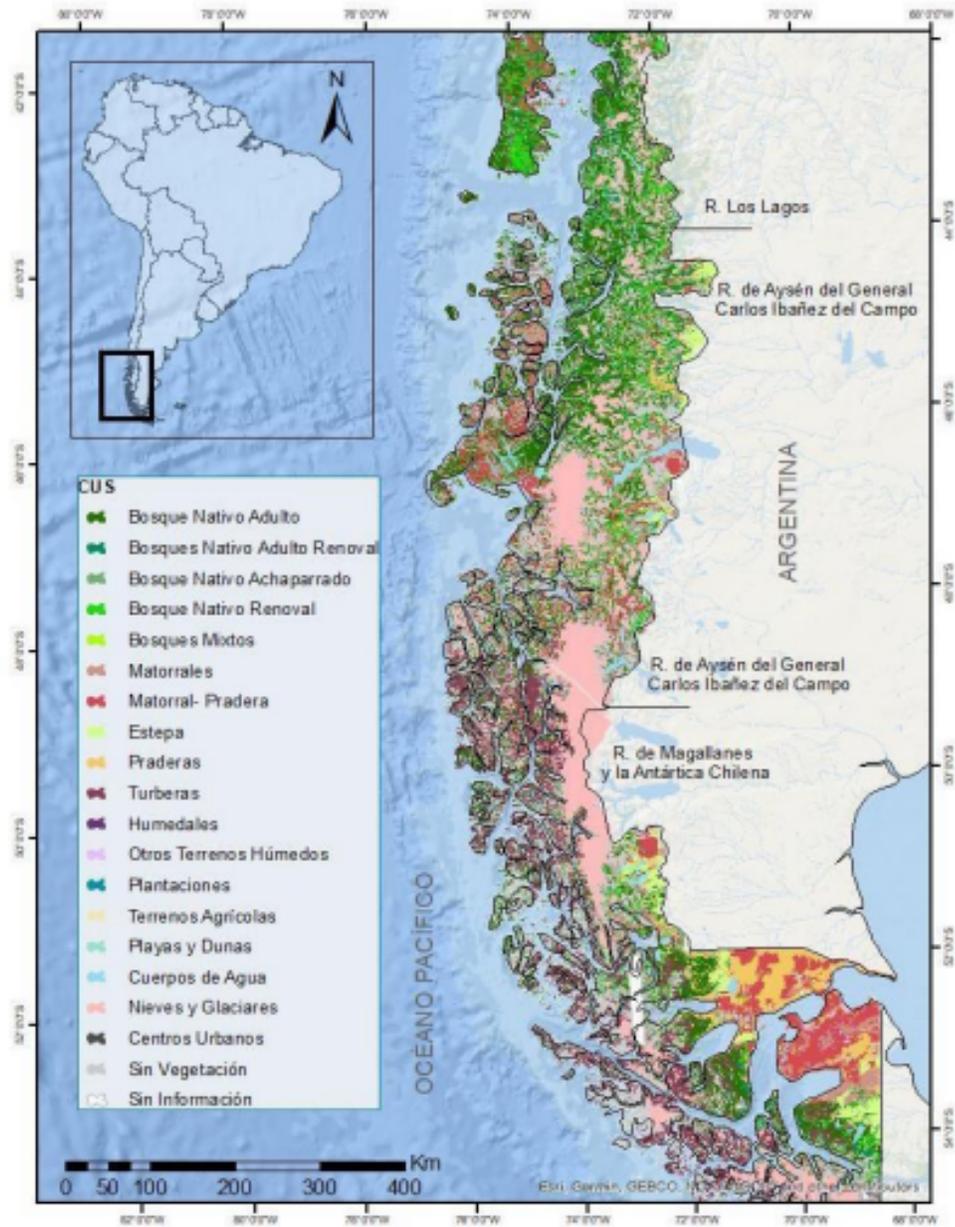


Figura 1. Cobertura/uso de suelo en el área de estudio. Elaborado en base a CONAF (2005, 2011, 2013)

Carbono en el suelo

Para realizar las estimaciones de carbono en el suelo se utilizó la base de datos del estudio “The Chilean Soil Organic Carbon database, a multi-institutional collaborative effort; CHLSOC” (Pfeiffer et al., 2019), que compila información de 67 estudios, totalizando 16.913 muestras realizadas en 12.179 puntos de medición, a través de diversos estudios. Dichas muestras presentan los siguientes parámetros:

ProfileID : Identificador de la medición
top : Profundidad mínima la muestra (cm)
bottom : Profundidad máxima de la muestra (cm)
oc : Contenido de carbono orgánico (%)
bd : Densidad aparente (g cm^{-3})
crf : Fragmentos gruesos
long : Longitud (coordenada del punto de medición)
lat : Latitud (coordenada del punto de medición)
year : Año en que se realizó la medición
oc_method : Método utilizado para el cálculo del contenido de carbono
bd_method : Método utilizado para el cálculo de la densidad aparente
reference : Estudio en que se realizó la medición

De las muestras presentes en la compilación de Pfeiffer et al. (2019), 2.372 se encuentran dentro del área de estudio, de acuerdo con la información espacial del Catastro Vegetacional de CONAF. De la misma forma, se identificó el UCS al que corresponde cada muestra. Se eliminaron 30 muestras: 23 cuya coordenada corresponde a “Cuerpos de agua”; 1 muestra que corresponde a “Centro urbano”; 6 muestras que no corresponden a ningún uso de suelo.

De las 2.342 muestras restantes, 1.621 no cuentan con el dato de densidad aparente, por lo que se utilizó el resto de entradas para poder completar los datos faltantes, de acuerdo con los siguientes pasos.

- Se calculó el punto medio de profundidad de las muestras (promedio entre *top* y *bottom*). Al identificar los puntos medios, se dejó fuera una muestra cuyo punto medio es 348 cm, considerando que el resto de los datos son menores a 200 cm.
- Se calcularon los promedios de densidad aparente para cada uso de suelo, estableciéndose rangos de 20 cm de acuerdo al punto medio de profundidad de los datos.
- A las muestras que no contaban con el valor de densidad aparente, se le asignó el valor promedio correspondiente al uso de suelo y al rango en que se encuentra el punto medio de profundidad que presenta la muestra.
- En el proceso se identificó que una entrada correspondiente a “Bosque nativo renoval” cuyo punto

medio es 195,5 cm; debido a que no existen muestras con dichas condiciones con valor de densidad aparente, esta no fue considerada en el análisis.

Contando con los datos de densidad aparente para todas las muestras correspondientes al área de estudio, se procedió a calcular el contenido de carbono por cada metro cuadrado (C_s):

$$C_s = (bottom - top) * 10.000 \text{ cm}^2 * bd * oc,$$

donde,

bottom : Profundidad máxima la muestra (cm)

top : Profundidad mínima de la muestra (cm)

bd : Densidad aparente (g cm^{-3})

Cs : Masa de contenido orgánico de la estrata (g m^{-2})

oc : Contenido de carbono orgánico de la muestra (%)

Posteriormente, se sumaron los valores de contenido de carbono orgánico de las muestras correspondientes a distintos estratos del mismo punto de medición. Luego se promediaron los valores de los puntos de medición correspondientes al mismo UCS, para cada región. Finalmente, este valor se multiplicó por la superficie correspondiente a cada UCS en cada región. La Figura 2 muestra los puntos utilizados en este estudio para estimar el contenido de C en el suelo.

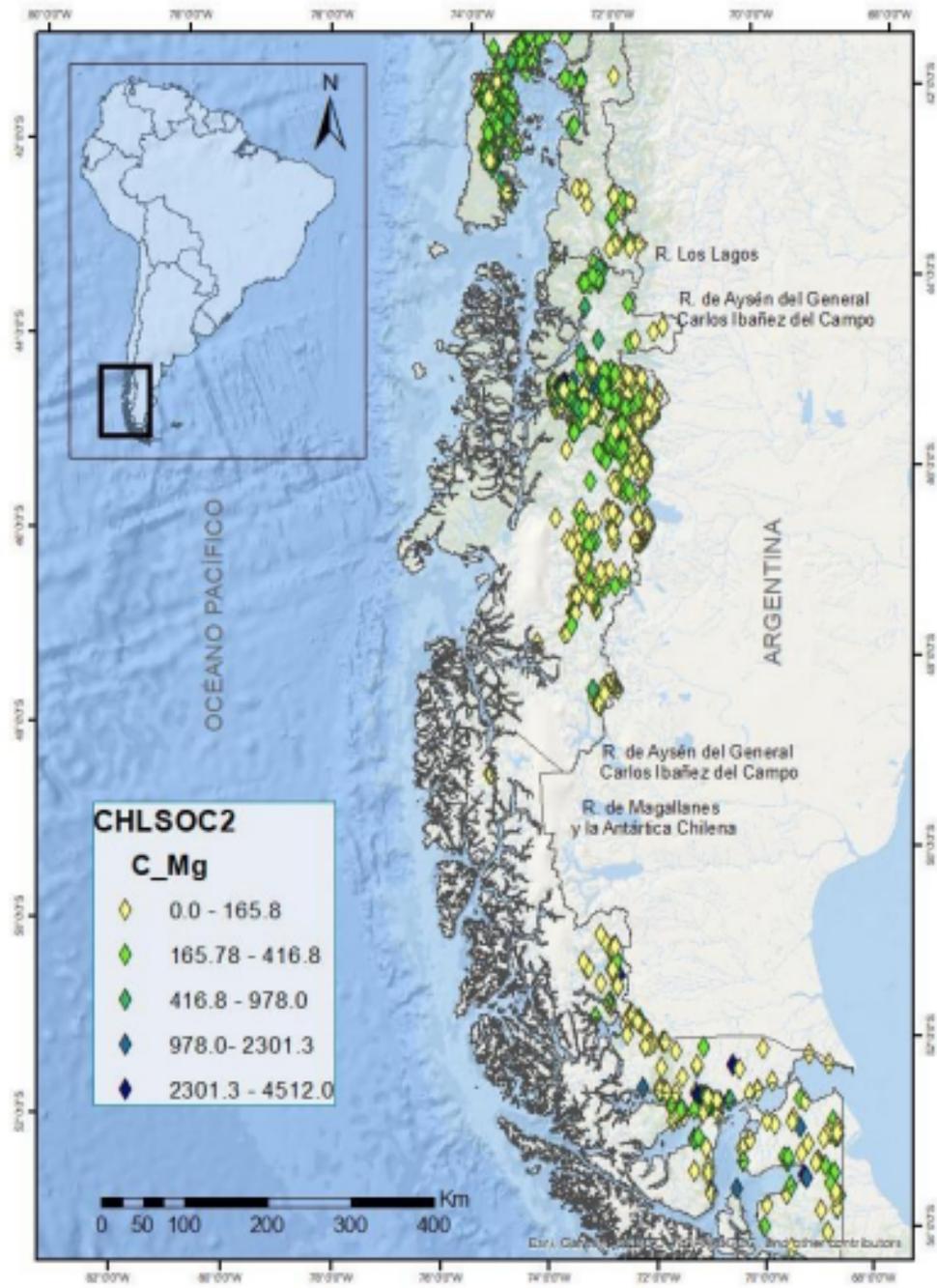


Figura 2. Ubicación de los puntos utilizados para estimar el contenido de carbono en el suelo (Mg C ha⁻¹). Fuente: Pfeiffer et al. (2019).

Carbono en la biomasa

Para estimar el carbono en biomasa se utilizó la información espacial del Inventario Continuo de Bosques Nativos y Actualización de Plantaciones Forestales (INFOR, 2018), que consiste en cuadrículas de 1 hectárea, e incluyen entre otros datos biomasa muerta ('biomasa de árboles muertos en pie y residuos gruesos') y biomasa viva ('carbono fustal') por hectárea (Figura 3).

Cruzando dicha información con los UCS obtenidos del Catastro Vegetacional de CONAF, se generó la información necesaria para estimar la cantidad de carbono en biomasa viva y muerta en los UCS correspondientes a bosque, según tipo forestal y uso de suelo. Debido a que la información anterior sólo permite estimar el contenido de carbono en bosques, se realizó una revisión bibliográfica para determinar el contenido de carbono en la biomasa del resto de los UCS.

Resultados y Discusión

Carbono en el suelo

Las estimaciones de contenido de carbono en el suelo en cada UCS se muestran en el Cuadro 1. Se puede apreciar que los suelos de los bosques son los que presentan los mayores valores, siendo superados solo por "Otros terrenos húmedos", los cuales incluso superan los contenidos reportados para "turberas". Esto hace suponer que estos puntos están en turberas de gran profundidad. Dentro de los UCS, algunos presentan una gran cantidad de muestras reportadas en todas las regiones (e.g., Praderas). Sin embargo, hay otros UCS que presentan muy bajo número de muestras ($N < 10$) o han sido muestreados en una sola región. Algunos de estos valores fueron extrapolados a las otras regiones o fueron definidos por fuentes bibliográficas distintas a la base de datos de Pfeiffer et al. (2019). Esto representa un mayor grado de incertidumbre en cuanto a la estimación del contenido de C en el suelo para estos UCS. Particularmente importantes son los casos de bosques y turberas, dado el alto contenido de C en este tipo de UCS y la gran superficie que representan en la Patagonia chilena. En el caso de las turberas, el valor promedio entregado por el estudio de Loisel & Yu (2013) llega a $1.680 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para Aysén y Magallanes, a diferencia del valor promedio de 60 Mg C ha^{-1} que resulta de 37 puntos reportados por Pfeiffer et al. (2019) para Magallanes.

Cuadro 1. Contenido de C promedio en el suelo (Mg C ha^{-1}) por UCS (uso/cobertura de suelo) en cada región de estudio. La desviación estándar solo se muestra para los datos provenientes del estudio de Pfeiffer et al. (2019), para los cuales N representa el número de datos con los que se calculó el valor. Se presentan también valores promedio máximos encontrados en la literatura para algunos usos de suelo.

Región	UCS	Prom.	D.E.	N	Fuente	Máx	Fuente
Los Lagos	Bosque Nativo Achaparrado	240	187	2	1		
Los Lagos	Bosque Nativo Adulto	358	153	7	1		
Los Lagos	Bosque Nativo Renoval	208	79	45	1		
Los Lagos	Bosques Nativo Adulto - Renoval	329	218	7	1		
Los Lagos	Estepa	148			2		
Los Lagos	Matorral - Pradera	260	116	253	1	371	5
Los Lagos	Matorrales	140	92	13	1	487	5
Los Lagos	Nieves y Glaciares	129			3		
Los Lagos	Otros Terrenos Húmedos	302	272	2	1		
Los Lagos	Plantaciones	269		1	1		
Los Lagos	Playas y Dunas	3.4			3		
Los Lagos	Praderas	157	52	18	1	404	5
Los Lagos	Sin Vegetación	121	23	2	1		
Los Lagos	Terrenos Agrícolas	99			3	435	5
Los Lagos	Turberas	41	71	3	1		
Aysén	Bosque Nativo Achaparrado	167	128	22	1		

Aysén	Bosque Nativo Adulto	245	492	49	1		
Aysén	Bosque Nativo Renoval	267	393	104	1		
Aysén	Bosques Nativo Adulto - Renoval	221	172	22	1		
Aysén	Estepa	132	120	64	1		
Aysén	Matorral - Pradera	172	144	85	1		
Aysén	Matorrales	238	230	109	1		
Aysén	Nieves y Glaciares	129*	113	3	1		
Aysén	Otros Terrenos Húmedos	253	291	30	1		
Aysén	Plantaciones	192	152	19	1		
Aysén	Playas y Dunas	3.4		1	1		
Aysén	Praderas	186	140	238	1		
Aysén	Sin Vegetación	161	125	9	1		
Aysén	Terrenos Agrícolas	99	74	50	1		
Aysén	Turberas	60			4	1,680	6

Magallanes	Bosque Nativo Achaparrado	74	27	16	1		
Magallanes	Bosque Nativo Adulto	71	91	14	1		
Magallanes	Bosque Nativo Renoval	94	337	25	1		
Magallanes	Bosques Nativo Adulto - Renoval	560		1	1		
Magallanes	Estepa	164	115	21	1		
Magallanes	Matorral - Pradera	429	791	62	1		

Magallanes	Matorrales	217	262	33	1		
Magallanes	Nieves y Glaciares	129			3		
Magallanes	Otros Terrenos Húmedos	1,809	1,844	5	1		
Magallanes	Plantaciones	192			3		
Magallanes	Playas y Dunas	3.4			3		
Magallanes	Praderas	328	610	84	1		
Magallanes	Sin Vegetación	109		1	1		
Magallanes	Terrenos Agrícolas	99			3		
Magallanes	Turberas	60	184	37	1	1.68 0	6

Fuente: 1) Pfeiffer et al. (2019), 2) promedio regiones Aysén y Magallanes, 3) valor de región de Aysén, 4) valor de región de Magallanes, 5) Cano (2019), 6) Loisel & Yu (2013). * Este valor es el promedio de tres puntos que caen en sectores cubiertos de nieve solo en invierno.

Carbono en biomasa

Las estimaciones de contenido de carbono en biomasa por uso de suelo forestal, se muestran en el Cuadro 2. Para “Bosque Nativo Adulto” y “Bosque Nativo Achaparrado” los valores de biomasa muerta y viva disminuyen de norte a sur, mientras que para “Bosque Nativo Renoval” y “Bosque Nativo Renoval” estos valores aumentan hacia el sur. En todos los usos de suelo forestal la biomasa, los valores promedio de contenido de C en la biomasa viva para los bosques de Los Lagos, Aysén y Magallanes son 52,1; 46,8 y 45,9 Mg C ha⁻¹, respectivamente, en tanto los valores equivalentes para biomasa muerta son de 110,9; 99,5 y 97,7 Mg C ha⁻¹.

El tipo forestal que presenta los mayores valores de C acumulado es “Alerce”, seguido por “Coihue de Magallanes” (Cuadro 3). Este último se encuentra presente en las tres regiones y disminuye su contenido de C en la biomasa viva de 75 Mg C ha⁻¹ en Los Lagos en alrededor de un 40% menos en Aysén y Magallanes. Por otro lado, el tipo forestal “Siempreverde” mantiene casi constante su contenido de C en la biomasa viva, alrededor de 43 Mg C ha⁻¹.

En el Cuadro 4 se presenta el contenido de C en la biomasa muerta y viva para todos los UCS en todas las regiones. Algunos valores se asumieron cero, como es el caso de los UCS “Sin Vegetación”, y “Nieves y Glaciares”. Como puede apreciarse, hay muchos UCS para los que no se encontraron valores publicados de contenido de biomasa muerta. Esto es relevante, ya que este componente es mayor que la biomasa viva y por tanto representa un vacío de información que elevaría la estimación del C contenido en estos ecosistemas. Por ejemplo en el caso de “Praderas”, solo se encontró un estudio realizado en la región de Los Lagos (Cano, 2019), en el cual el contenido de C en la biomasa muerta es 3,3 veces el valor de la biomasa viva.

El mayor valor de biomasa viva se encuentra en “Plantaciones” (Cuadro 4), sin embargo hay que considerar que este valor es referencial y está dado por IPCC (2006). Como era de esperar, los bosques representan ecosistemas con alto contenido de C en la biomasa viva, y mayor aún en la biomasa muerta, compuesta por árboles muertos en pie y residuos gruesos. Dado que la metodología del estudio de INFOR (2018), que se utilizó para obtener los datos de biomasa de bosques, no considera la medición de la hojarasca, la contribución de la biomasa muerta al contenido de C en los ecosistemas de bosque podría ser aún mayor. La Figura 3 muestra el contenido total de C en la biomasa (viva y muerta) en el área de estudio.

Cuadro 2. Promedio y desviación estándar del contenido de C en la biomasa muerta y viva por uso de suelo forestal, en cada región de estudio.

Región	Uso de suelo forestal	Biomasa muerta (Mg C ha ⁻¹)		Biomasa viva (Mg C ha ⁻¹)	
		Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
Los Lagos	Bosque Nativo Renoval	84,3	65,7	39,6	30,9
	Bosque Nativo Adulto	147,9	92,8	69,5	43,6
	Bosques Nativo Adulto- Renoval	82,0	57,5	38,5	27,0
	Bosque Nativo Achaparrado	129,4	94,6	60,8	44,5
	Promedio	110,9	77,6	52,1	36,5
Aysén	Bosque Nativo Renoval	97,9	35,2	46,0	16,5
	Bosque Nativo Adulto	96,4	36,7	45,3	17,2
	Bosques Nativo Adulto- Renoval	98,4	36,6	46,2	17,2
	Bosque Nativo Achaparrado	105,4	37,4	49,5	17,5
	Promedio	99,5	36,5	46,8	17,1
Magallanes	Bosque Nativo Renoval	100,7	41,1	47,4	19,3
	Bosque Nativo Adulto	98,6	38,2	46,3	17,9
	Bosques Nativo Adulto- Renoval	99,1	36,7	46,6	17,2
	Bosque Nativo Achaparrado	92,2	35,8	43,3	16,8
	Promedio	97,7	37,9	45,9	17,8

Fuente: INFOR (2018).

Cuadro 3. Promedio y desviación estándar del contenido de C en la biomasa muerta y viva por tipo forestal, en cada región de estudio.

Región	Tipo forestal	Biomasa muerta (Mg C ha ⁻¹)		Biomasa viva (Mg C ha ⁻¹)	
		Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
Los Lagos	Siempreverde	91,0	69,9	42,8	32,8
	Roble - Rauli - Coihue	88,6	68,3	41,6	32,1
	Coihue - Rauli - Tepa	123,1	85,7	57,8	40,3
	Lenga	134,7	95,6	63,3	44,9
	Alerce	174,2	93,0	81,9	43,7
	Coihue de Magallanes	159,0	92,0	74,7	43,2
	Ciprés de las Guaitecas	75,3	51,2	35,3	24,1
	Promedio	120,8	79,4	56,8	37,3
Aysén	Siempreverde	91,6	35,7	43,1	16,8
	Roble - Rauli - Coihue	-	-	-	-
	Coihue - Rauli - Tepa	-	-	-	-
	Lenga	113,6	34,1	53,4	16,0
	Alerce	-	-	-	-
	Coihue de Magallanes	90,9	36,0	42,7	16,9
	Ciprés de las Guaitecas	88,8	37,8	41,8	17,7
	Promedio	96,2	35,9	45,2	16,8
Magallanes	Siempreverde	92,3	31,4	43,4	14,7

	Roble - Rauli - Coihue	-	-	-	-
	Coihue - Rauli - Tepa	-	-	-	-
	Lenga	99,4	39,4	46,7	18,5
	Alerce	-	-	-	-
	Coihue de Magallanes	94,0	34,3	44,2	16,1
	Ciprés de las Guaitecas	90,2	35,5	42,4	16,6
	Promedio	94,0	35,2	44,2	16,5

Fuente: INFOR (2018).

Cuadro 4. Contenido promedio de C (Mg C ha⁻¹) en la biomasa muerta y viva para distintos usos/ coberturas de suelo (UCS), en las regiones de estudio.

Región	Uso/cobertura de suelo	Biomasa muerta (Mg C ha ⁻¹)	Biomasa viva (Mg C ha ⁻¹)	Fuente
Los Lagos	Bosque Nativo Achaparrado	129,4	60,8	1
Los Lagos	Bosque Nativo Adulto	147,9	69,5	1
Los Lagos	Bosque Nativo Renoval	84,3	39,6	1
Los Lagos	Bosques Nativo Adulto - Renoval	82,0	38,5	1
Los Lagos	Estepa		0,5	2

Los Lagos	Matorral - Pradera	1,9	21	3
Los Lagos	Matorrales	10,1	8,1	3
Los Lagos	Nieves y Glaciares	0	0	
Los Lagos	Otros Terrenos Húmedos		8,6	4
Los Lagos	Plantaciones		151	5
Los Lagos	Playas y Dunas		1,8	6
Los Lagos	Praderas	11,4	3,5	3
Los Lagos	Sin Vegetación	0	0	
Los Lagos	Terrenos Agrícolas	0	2,8	3
Los Lagos	Turberas	4	8,6	7

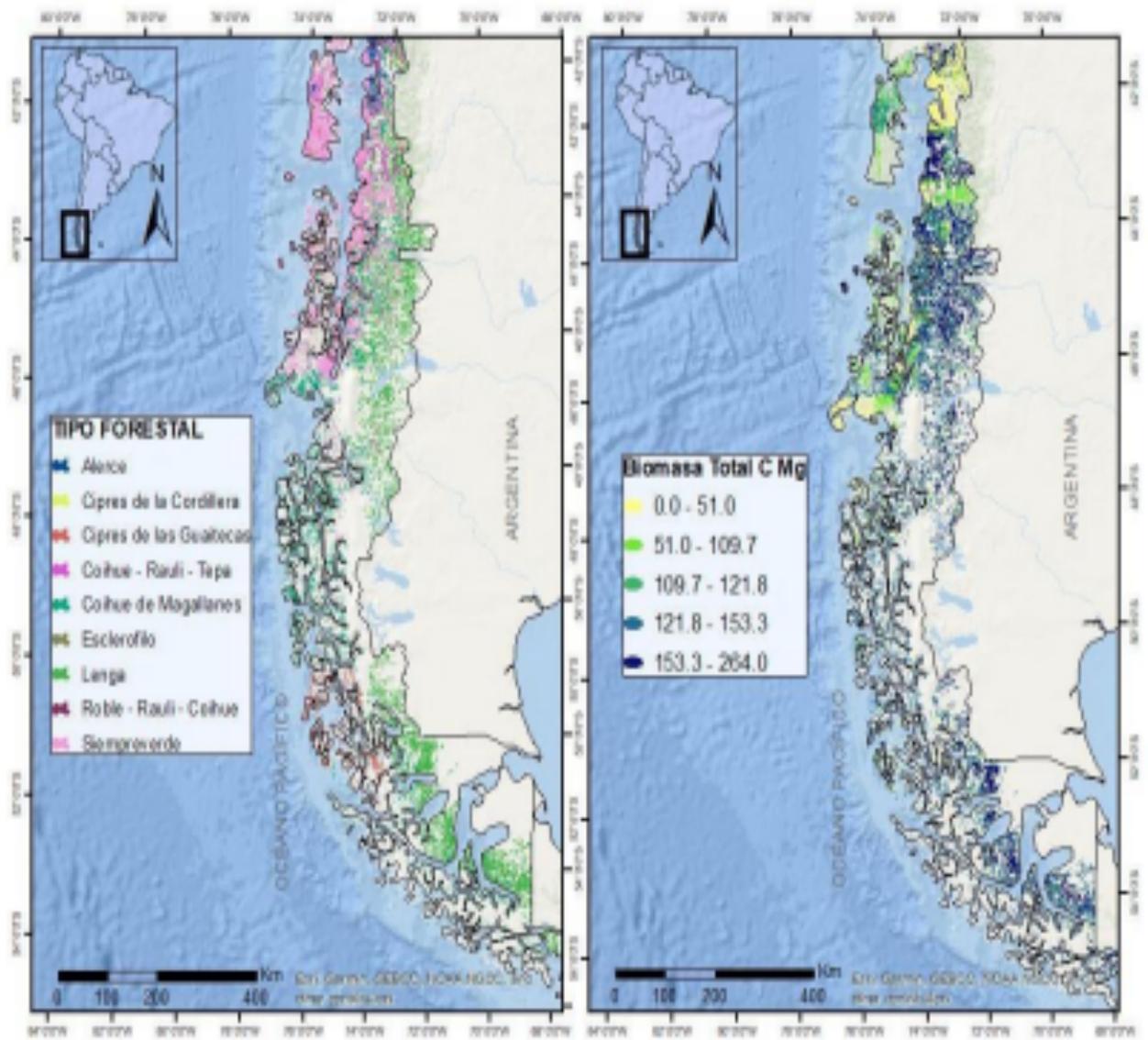
Aysén	Bosque Nativo Achaparrado	105,4	49,5	1
Aysén	Bosque Nativo Adulto	96,4	45,3	1
Aysén	Bosque Nativo Renoval	97,9	46,0	1
Aysén	Bosques Nativo Adulto - Renoval	98,4	46,2	1
Aysén	Estepa		0,5	2
Aysén	Matorral - Pradera	1,9	21	3
Aysén	Matorrales	10,1	8,1	3
Aysén	Nieves y Glaciares	0	0	
Aysén	Otros Terrenos Húmedos		30	4
Aysén	Plantaciones		151	5
Aysén	Playas y Dunas		1,8	6
Aysén	Praderas		0,8	2
Aysén	Sin Vegetación	0	0	
Aysén	Terrenos Agrícolas	0	2,8	3
Aysén	Turberas		30,0	8
Magallanes	Bosque Nativo Achaparrado	92,2	43,3	1
Magallanes	Bosque Nativo Adulto	98,6	46,3	1
Magallanes	Bosque Nativo Renoval	100,7	47,4	1
Magallanes	Bosques Nativo Adulto - Renoval	99,1	46,6	1
Magallanes	Estepa		0,2	2
Magallanes	Matorral - Pradera	1,9	21	3

Magallanes	Matorrales	10,1	8,1	3
Magallanes	Nieves y Glaciares	0	0	
Magallanes	Otros Terrenos Húmedos		30	4
Magallanes	Plantaciones		151	5
Magallanes	Playas y Dunas		1,8	6
Magallanes	Praderas		0,8	2
Magallanes	Sin Vegetación	0	0	

Magallanes	Terrenos Agrícolas	0	2,8	3
Magallanes	Turberas		30,0	8

Fuente: 1) INFOR (2018), 2) Ahumada y Faúndez (2001), 3) Cano (2019), 4) se asignó el mismo valor de turberas de cada región, 5) IPCC (2006) considerando un factor de expansión de raíces de 1,29 de Gayoso et al. (2002), 6) Liliana Vásquez (datos no publicados de Mar Brava, Chiloé), 7) Cabezas et al. (2015), 8) Valdés (2012).

Figura 3. Tipo forestal (izquierda) y contenido de C en la biomasa total (viva y muerta) (derecha) en el área de estudio.



Carbono total

Las estimaciones de contenido de carbono por componente y total por UCS para el área de estudio se muestran en el Cuadro 5. En términos de superficie, destacan los bosques en Aysén (4,4 millones ha) y las turberas en la región de Magallanes (3,2 millones ha).

Al analizar los distintos componentes, el suelo contiene más C que la biomasa total (viva y muerta) en todos los UCS. En ese sentido, el estudio de Pfeiffer et al. (2019) representa una gran contribución al conocimiento del contenido de C en estos ecosistemas. Este mismo estudio permitirá orientar los esfuerzos para mejorar la representatividad de la información, tanto espacial (Figura 2), como también en relación a los UCS menos muestreados (Cuadro 1).

Debido a la gran superficie que representan, los sectores “Sin Vegetación” contienen una gran cantidad de C, debido principalmente al valor encontrado en el suelo (Cuadro 1). Sería importante revisar si estos ecosistemas presentan biomasa muerta, ya que su contribución podría aumentar.

Los bosques nativos, con una superficie de 9,12 millones ha en el área de estudio, representan el tipo de vegetación con mayor acumulación de C (1.591 millones Mg C), siendo el UCS “Bosque Nativo Adulto” el mayor reservorio, el cual solo en la región de Aysén representa 864 millones Mg C.

Si se consideran los valores promedio del contenido de C en el suelo del Cuadro 1, el total de C acumulado en los ecosistemas del área de estudio llega a 5,55 millones Mg C (5,55 Pg C; $1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$). Por otro lado, si se consideran los valores máximos de contenido de C en el suelo del Cuadro 1, este valor sube a 10,83 Pg C, es decir prácticamente el doble. Esto se debe a que la superficie de turberas en Magallanes (3,2 millones ha) cambia mucho su contribución al considerar un contenido de $1.680 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Loisel & Yu, 2013), en vez de los 60 Mg C ha^{-1} que reporta el estudio de Pfeiffer et al. (2019) para Magallanes, además que este mismo valor se asignó a las turberas de Aysén. Como referencia, se calcula que las turberas del hemisferio norte almacenan $500 \pm 100 \text{ Pg C}$ (Yu, 2012), mientras que las turberas en los trópicos contienen $88,6 \text{ Pg C}$ (Page et al., 2011). Esto releva la importancia de proteger las turberas, como lo hacen notar Hoyos-Santillan et al. (2019), quienes estiman en $4,8 \text{ Pg C}$ el contenido de C de las turberas en la Patagonia. Esta gran cantidad de C se debe a que utilizaron la estimación de Loisel & Yu (2013) para el contenido de C por hectárea.

Cuadro 5. Superficie y contenido de C (Mg C) en el suelo, la biomasa muerta, biomasa viva y total para distintos usos/coberturas de suelo (UCS), en las regiones de Los Lagos (X), Aysén (XI) y Magallanes (XII).

Región	Uso/cobertura de suelo	Superficie (ha)	Suelo	Biom. muerta	Biom. viva	Total
X	BN Achaparrado	394.651	94.639.213	51.069.278	24.006.294	145.708.491
X	BN Adulto	1.010.750	361.705.365	149.461.548	70.245.767	511.166.914
X	BN Renoval	476.461	99.134.692	40.151.738	18.873.017	139.286.430
X	BN Adulto-Renoval	169.074	55.624.483	13.860.793	6.515.371	69.485.276
X	Estepa	878	130.006	0	439	130.006
X	Matorral - Pradera	379.501	98.818.641	721.052	7.969.524	99.391.350
X	Matorrales	93.929	13.138.488	948.687	760.828	14.098.804
X	Nieves y Glaciares	229.114	29.555.748	0	0	29.555.748
X	Terrenos Húmedos	32.839	9.907.837	0	282.417	9.907.837
X	Plantaciones	13.744	3.698.715	0	2.074.342	3.698.715
X	Playas y Dunas	9.795	33.305	0	17.632	33.305
X	Praderas	13.078	2.049.363	149.092	45.774	2.202.379
X	Sin Vegetación	196.355	23.827.249	0	0	23.827.249
X	Terrenos Agrícolas	863	85.483	0	2.418	85.483
X	Turberas	17.644	723.949	70.576	151.739	794.525
XI	BN Achaparrado	1.158.152	193.261.846	122.035.211	57.362.516	315.297.056
XI	BN Adulto	2.534.752		244.380.403	114.910.810	864.283.769

XI	BN Renoval	459.933	122.681.346	45.010.006	21.159.657	167.691.351
XI	BN Adulto-Renoval	245.920	54.248.450	24.191.059	11.373.168	78.439.510
XI	Estepa	229.032	30.241.735	114.516	114.516	30.356.251
XI	Matorral - Pradera	1.105.051	190.161.314	2.099.597	23.206.074	192.260.911
XI	Matorrales	1.312.402	312.886.538	13.255.255	10.630.452	326.141.794
XI	Nieves y Glaciares	1.559.702	201.735.992	0	0	201.735.992
XI	Terrenos Húmedos	62.225	15.728.204	0	1.866.740	15.728.204
XI	Plantaciones	31.624	6.074.832	0	4.775.253	6.074.832
XI	Playas y Dunas	5.784	19.391	0	10.410	19.391
XI	Praderas	134.976	25.108.625	0	107.980	25.108.625
XI	Sin Vegetación	1.355.612	218.091.084	0	0	218.091.084
XI	Terrenos Agrícolas	7.546	747.101	0	21.129	747.101
XI	Turberas	45.584	2.735.029	0	1.367.515	2.735.029
XII	BN Renoval	234.228	22.131.224	23.594.322	11.091.628	45.725.547
XII	BN Adulto-Renoval	164.832	92.295.930	16.341.083	7.681.902	108.637.014
XII	Estepa	401.508	65.845.099	0	80.302	65.845.099
XII	Matorral - Pradera	1.106.913	474.486.010	2.103.134	23.245.163	476.589.143
XII	Matorrales	640.217	138.696.479	6.466.193	5.185.759	145.162.672
XII	Nieves y Glaciares	1.795.359	231.601.319	0	0	231.601.319
XII	Terrenos Húmedos	70.235	127.081.569	0	2.107.053	127.081.569
XII	Plantaciones	225	43.272	0	34.032	43.272
XII	Playas y Dunas	3.041	10.340	0	5.474	10.340
XII	Praderas	273.816	89.822.552	0	219.053	89.822.552
XII	Sin Vegetación	1.783.608	195.270.843	0	0	195.270.843
XII	Terrenos Agrícolas	12	1.150	0	33	1.150
XII	Turberas	3.166.454	191.074.165	0	94.993.633	189.987.267

Cuadro 6. Contenido de C (Mg C) en el suelo, la biomasa muerta, biomasa viva y total para dos escenarios de contenido de C en el suelo según el Cuadro 1.

Escenario	Suelo	Biom. muerta	Biom. viva	Total
Promedio	4.577.928.078	973.662.831	624.820.532	5.551.590.909
Máximo	9.859.668.661	973.662.831	624.820.532	10.833.331.492

Conclusiones

La base de datos disponible a través de INFOR (2018) para biomasa en bosques y la de Pfeiffer et al. (2019) para suelos, son grandes avances para la estimación del carbono contenido en los ecosistemas de la Patagonia chilena. Dentro de la información faltante, y que podría aumentar la cantidad de C acumulada en estos ecosistemas, está la biomasa muerta, ya que ésta generalmente supera a la biomasa viva, como se observó en los bosques en este estudio. También importante es avanzar en el estudio de praderas y matorrales, ya que son escasos los datos que están disponibles para estos tipos de ecosistemas.

Los ecosistemas más relevantes de la Patagonia chilena en cuanto a la cantidad de C que acumulan son los bosques y las turberas. El contenido total de C en la Patagonia chilena asciende a 5,55 Pg C, pudiendo llegar a ser 10,83 Pg C, dependiendo del valor que se use para el contenido de C en el suelo de las turberas. Dada la relevancia del aporte de turberas al contenido total de C en la Patagonia, se hace imprescindible avanzar en una estimación más exacta del C acumulado por hectárea en este tipo de ecosistemas.

Bibliografía

1. Ahumada M., Faúndez L. 2001. Guía descriptiva de las praderas naturales de Chile. Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago.
2. Albrecht A., Kandji S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99: 15-27.
3. Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96.
4. Cabezas, J., Galleguillos, M., Valdés, A., Fuentes, J.P., Pérez, C., & Perez-Quezada, J.F. 2015. Evaluation of impacts of management in an anthropogenic peatland using field and remote sensing data. *Ecosphere*, 6(12), 1-24.
5. Cano, S. 2019. Reservorios de carbono, nitrógeno y fósforo en agroecosistemas de la Isla de Chiloé. Tesis Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
6. CONAF. 2005. Catastro Vegetacional Región de Magallanes [en línea]. Recuperado en: <<https://sit.conaf.cl/>>. Consultado el: 8 de noviembre de 2019.
7. CONAF. 2011. Catastro Vegetacional Región de Aysén [en línea]. Recuperado en: <<https://sit.conaf.cl/>>. Consultado el: 8 de noviembre de 2019.
8. CONAF. 2013. Catastro Vegetacional Región de Los Lagos [en línea]. Recuperado en: <<https://sit.conaf.cl/>>. Consultado el: 8 de noviembre de 2019.
9. FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia
10. Gayoso, J., Guerra, J., & Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. *Valdivia (Chile)*: Universidad Austral de Chile, Proyecto medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Informe Final, Documento, 53.
11. INFOR. 2018. Inventario continuo de bosques nativos y actualización de plantaciones forestales [en línea]. Recuperado en: <<https://ifn.infor.cl/index.php/datos-primer-ciclo>>. Consultado el: 8 de noviembre de 2019.
12. IPCC. 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
13. Jaksic, F. y Fariña, J. 2015. Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Instituto Patagonia (Chile)* vol.43 no.1 Punta Arenas.
14. Hoyos-Santillan J., Miranda A., Lara A., Rojas M., Sepulveda-Jauregui A. 2019. Protecting Patagonian peatlands in Chile. *Science* 366 (6470): 1207-1208.
15. Loisel, J., & Yu, Z. 2013. Holocene peatland carbon dynamics in Patagonia. *Quaternary Science Reviews*, 69, 125-141.
16. Mas, J.F. y Flamenco Sandoval, A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de Mexico. *GeoTropico*, 5 (1): 1-24.
17. Page S.E., Rieley J.O., Banks C.J. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Glob Change Biol* 17:798–818.
18. Pfeiffer, M., Padarian, J., Osorio, R., Bustamante, N., Olmedo, G. F., Guevara, M., Aburto, F., Antilen, M., Araya, E., Arellano, E., Barret, M., Barrera, J., Boeckx, P., Briceño, M., Bunning, S., Cabrol, L., Casanova, M., Cornejo, P., Corradini, F., Curaqueo, G., Doetterl, S., Duran, P., Escudey, M., Espinoza, A., Francke, S., Fuentes, J. P., Fuentes, M., Gajardo, G., García, R., Gallaud, A., Galleguillos, M., Gomez, A., Hidalgo, M., Ivelic-Sáez, J., Mashalaba, L., Matus, F., Mora, M. D. L. L., Mora, J., Muñoz, C., Norambuena, P., Olivera, C., Ovalle, C., Panichini, M., Pauchard, A., Perez-Quezada, J. F., Radic, S., Ramirez, J., Riveras, N., Ruiz, G., Salazar, O., Salgado, I., Seguel, O., Sepúlveda, M., Sierra, C., Tapia, Y., Toledo, B., Torrico, J. M., Valle, S., Vargas, R., Wolff, M., and Zagal, E.: CHLSOC: The Chilean Soil Organic Carbon database, a multi-institutional collaborative effort, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*,

<https://doi.org/10.5194/essd-2019-161>, in review, 2019.

20. Valdés, A. A. 2012. Estimación del contenido y balance de carbono en un bosque de *Nothofagus pumilio* y una turbera de *Sphagnum magellanicum* en Tierra del Fuego, Chile. Seminario de título entregado para optar al título de Biólogo, mención medio ambiente. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Universidad de Chile. 60p.
21. Yu Z. 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* 9:4071–4085.

Programa 
Austral
Patagonia
Universidad Austral de Chile