



Inventario provincial del contenido de carbono en bosques nativo de ñire en Santa Cruz

Peri, P.L.^{1,2}; Ormaechea, S.¹, Martínez Pastur, G.³, Lencinas, M.V.³

¹INTA EEA Santa Cruz. CC 332, (9400), Río Gallegos, Santa Cruz. E-mail: pperi@correo.inta.gov.ar. ²UNPA-
CONICET. ³CADIC-CONICET

Resumen

Los bosques son ecosistemas terrestres importantes en el secuestro de carbono (C), contribuyendo de manera significativa a la mitigación del cambio climático producido por el incremento del CO₂ atmosférico. En el contexto del inventario provincial de bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*) (355 parcelas) efectuado en el marco de la Ley Nacional de Protección de los Bosques Nativos N° 26.331, se estimó el almacenamiento de C en el componente arbóreo aéreo y subterráneo (raíces) y suelo (mantillo, horizonte orgánico y suelo mineral hasta 0,6 m de profundidad). Para la estimación de la capacidad de almacenamiento y tasa de fijación de C se utilizaron ecuaciones biométricas considerando la calidad de sitio, las clases de copa y las fases de desarrollo. Se estimó que la mayor parte de los ñirantales (46,8%) poseen una acumulación total de C en el rango de 250-300 Mg C ha⁻¹. Considerando la superficie y los valores medios de acumulación de C por hectárea de los rangos de cada estrato, se estima que los bosques de ñire en Santa Cruz acumula un total de casi 45 millones de toneladas de C, de los cuales alrededor de 20% corresponde a la biomasa aérea y radicular, y el 80% restante al suelo. La tasa media anual de fijación de C, en la mayor superficie de los ñirantales (73%) es <1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, debido a que la mayoría se encuentran en fases de desarrollo madura y clases de sitio baja.

Palabras clave: bosque nativo, suelo, tasa fijación carbono, Patagonia.

Abstract

Data on carbon (C) storage in forests and different tree components are essential for the importance of CO₂ in global climate change. In this context, C storage estimation of aerial and subterranean (roots) components of *N. antarctica* forests and soil (litter, organic and mineral horizons, 0,6 m depth) at a regional level was carried out under a provincial inventory (355 plots) framework. Logistic functions were used for total C sink and C accumulation rate estimations based on the development phase, crown classes and site quality of the stands. Most of these forests (46.8%) accumulate between 250 and 300 Mg C ha⁻¹. Taking into account the total forest area and the mean C sink values of each stand, we estimated that in Santa Cruz province *N.*

antarctica forests accumulate approximately 45 million tons of C, where 20% corresponds to trees components (aerial and roots) and 80% from soils. The mean annual C accumulation rate in most of the forest (73%) was less than 1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ due to the mature growth phase state of these forests growing in low site qualities.

Keywords: native forest, soil, carbon accumulation rate, Patagonia.

Introducción

El ñire (*Nothofagus antarctica*) es una especie forestal nativa de Patagonia que se caracteriza por su gran plasticidad adaptándose a una gran variedad de condiciones ambientales ocupando sitios con exceso de humedad (turberas y mallines) y sitios secos (límite con la estepa) lo cual determina una amplia distribución desde el norte de Neuquén hasta Tierra del Fuego. Principalmente estos bosques de ñire se desarrollan donde las precipitaciones anuales varían entre 300 y 800 mm/año, y presenta desde un morfotipo arbóreo (hasta 20 m de altura) en condiciones óptimas de hábitat hasta un morfotipo arbustivo con troncos retorcidos propio de condiciones muy rigurosas secas (Santos Biloni, 1990). El mayor uso de los bosques de ñire en Santa Cruz es bajo un esquema silvopastoril (Peri, 2005). Los sistemas silvopastoriles combinan en una misma unidad de superficie árboles con pastizales bajo pastoreo con ganado ovino, bovino o mixto, y en los que se presentan interacciones positivas o negativas según la región, tipo de asociación y época del año. La madera de ñire se aprovecha principalmente para postes, varas y leña, aunque las características de su madera podrían hacerla interesante para varias industrias como la confección de tableros y parquet. Entre los principales servicios ambientales de los bosques nativos se incluye la capacidad de fijación de gases de efecto invernadero (Artículo 5º, Ley N° 26.331). Actualmente son varios los estudios destinados a determinar la capacidad de secuestro de carbono (C) en los ecosistemas forestales, tanto en plantaciones con especies exóticas como en bosques nativos. Se ha demostrado que estos ecosistemas con un manejo adecuado pueden secuestrar más carbono que otros ecosistemas terrestres (Dixon et al., 1994), contribuyendo notablemente a la mitigación del cambio climático producido por el constante incremento del CO₂ atmosférico. Esta propiedad de fijar C de los ecosistemas forestales ha despertado gran interés en los últimos años, a partir del compromiso por parte de países desarrollados, de otorgar “Créditos de Carbono” o “Bonos Verdes” como una manera de compensar sus emisiones de CO₂ de acuerdo con las bases del Protocolo de Kyoto de 1997. En este contexto, es importante la generación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que incorpore la información proveniente de un relevamiento a escala regional del estado y servicios que

ofrecen los bosques de ñire. La disponibilidad de datos satelitales de alta resolución espacial, temporal, y su integración en SIG, ha contribuido para que la producción de mapas temáticos de inventarios forestales de bosque nativo a escalas provinciales y regionales (Lencinas, 2002; Collado, 2001). Herramientas de este tipo son demandadas por los organismos provinciales y/o nacionales de fiscalización y control, cuyo rol es importante para reglamentar el uso de los bosques de ñire a través de planes de manejo. Por lo tanto, en el contexto del inventario provincial de bosques de ñire efectuado en el marco de la Ley Nacional de Protección de los Bosques Nativos N° 26.331, se planteó como objetivo estimar el almacenamiento de C en el componente arbóreo aéreo y subterráneo de los bosques de *Nothofagus antarctica* como apoyo a la planificación de sus diferentes usos y a su conservación a través del desarrollo de un SIG a nivel provincial para el diseño de mejores políticas forestales para la especie.

Materiales y Métodos

Metodología de la clasificación de los ñirantales: El área de análisis abarcó completamente la totalidad de la región de los ñirantales de Santa Cruz. Si bien se poseía una cobertura vectorial de los bosques de ñire de la provincia (Peri, 2004), el grado de precisión y el tipo de información de la misma no se consideró adecuado para este estudio por tratarse de una digitalización de la Pre-carta Forestal del IFONA de 1987. La metodología de la clasificación de los ñirantales se basó en lo propuesto por Collado (2009). En general, con el objetivo de contar con una guía para la realización del muestreo a campo, se realizó una clasificación no supervisada con 12 clases, utilizando imágenes Landsat 5 (path 229, row 096; path 230, row 095-096; path 231, row 092-096) correspondientes al período de verano 2005-2007, y el software Erdas Imagine. La clasificación se realizó sobre la imagen mencionada utilizando la cobertura vectorial de los ñirantales como máscara de análisis. Posteriormente y para eliminar píxeles sueltos o agrupaciones de pocos píxeles se aplicó un filtro “majority” con una matriz de 7x7 (Erdas, 1998). Estos procesos permitieron obtener una primera clasificación sobre la que fue posible diferenciar distintos estratos y así orientar los muestreos de campo.

Muestreo de Campo: Para la realización del muestreo de campo se elaboró una grilla cuadrada de 250x250 m localizada exclusivamente sobre la cobertura de los bosques de ñire incluidos en el estudio. Por otra parte, se elaboraron e imprimieron mapas de campo, en los que se superpuso, sobre una imagen satelital de fondo, la cobertura de los ñirantales, la clasificación no supervisada de 12 clases, rutas, caminos, picadas,

construcciones rurales y la grilla de muestreo con sus números identificatorios. Estos mapas ocuparon 1.100.000 ha del área de trabajo. Una condición para la realización de una parcela de muestreo en el centro de una celda fue que el estrato de la clasificación no supervisada tuviera una extensión mínima donde toda la celda de 250 metros de lado estuviera completamente dentro del estrato no supervisado a muestrear. El trabajo de campo se efectuó en 10 salidas realizadas en verano del 2009-2010 y 2010-2011, en las que se realizaron un total de 355 parcelas de muestreo. El acceso a la unidad de muestreo seleccionada se realizó cargando la coordenada de la unidad en GPS y navegando por medio del mismo hasta el punto. El muestreo consistió en parcelas temporarias puntuales en las que se midieron y estimaron variables del estrato arbóreo, del sotobosque y del entorno. De la estructura del estrato arbóreo se relevó: la fase de desarrollo (desmoronamiento y envejecimiento (>100 años), crecimiento óptimo (21-100 años) y regeneración (<21 años)), cobertura del dosel superior (%), altura de los árboles dominantes (m), área basal (m^2/ha), tipo de estructura (regular, irregular, regular por bosquetes). Para la determinación de las Clases de Sitio se utilizó clasificación propuesta por Ivancich et al. (2011) basado en las curvas de índice de sitios (IS_{50}) según la altura de árboles de ñire dominante a la que arribará un rodal a una edad mayor a los 150 años. Para la estimación de la capacidad de almacenamiento y tasa de fijación de carbono del componente arbóreo de los ñirantales se utilizaron las ecuaciones logísticas propuestas por Peri et al. (2010), las cuales considera la calidad de sitio, las clases de copa y las fases de desarrollo. Para determinar el contenido de C en el suelo, cinco muestras compuestas de suelo en diferentes horizontes (hojarasca, horizonte orgánico y horizontes minerales) fueron tomadas al azar en rodales de diferentes Clases de Sitio y fases de desarrollo hasta una profundidad coincidente con la distribución de raíces (0,5-0,6 m). Las muestras fueron conservadas a 2 °C hasta su procesamiento en laboratorio. Las muestras de hojarasca y horizonte orgánico fueron secadas al horno a una temperatura constante de 70 °C, molidas y tamizadas con malla de 1 mm. Las muestras de los horizontes minerales fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas con malla de 2 mm. La densidad aparente fue medida como el peso seco de suelo por unidad de volumen ($g\ cm^{-3}$). La concentración de C fue determinado por combustión seca usando el LECO analyser. El contenido de C en el suelo se estimó aplicando la concentración de C a la densidad aparente de cada profundidad de suelo en particular. Para la definición de un polígono inventariable se consideró una distancia máxima de 700 m entre bordes de bosques (350 m a ambos lados de las manchas de bosque) que puede contener pastizal.

Esto puede ocurrir en bosques distribuidos en bosquetes o isletas donde manchones de árboles están unidos y asociados a pastizales que conforman el bosque. Esto fue importante definirlo ya que se podría sub- o sobreestimar la superficie de bosque de ñire con este tipo de distribución, el cual es abundante en la provincia Santa Cruz.

Procesamiento de la información: En gabinete, la información de campo de GPS de los puntos de muestreo y la información de las planillas digitalizadas en Excell fueron convertidos en formato "shapefile" (Arcview) para compatibilizar la información con el programa. De esta manera se hizo posible el manejo de la información para la realización del análisis múltiple geográfico. Una vez obtenida y procesada toda la información de campo, se procedió a agrupar los puntos de muestreo para clasificarlos y obtener una primera clasificación supervisada. La clasificación supervisada consistió en entrenar al sistema de procesamiento de imágenes satelitales respecto de la representatividad de los píxeles de cada estrato de la leyenda con la que se clasificó la imagen. En base a esta información el sistema reorganiza y categoriza la información de la imagen. Este proceso fue realizado con el software ERDAS IMAGINE (Erdas, 1998). El resultado fue una imagen "raster" clasificada. La clasificación resultante fue verificada por medio de la realización de parcelas de muestreo en terreno en varios puntos distantes entre sí del área de trabajo. El resultado de la verificación fue un error en el 9% de los puntos de chequeo de la clasificación, lo cual estuvo dentro de los límites aceptables para una clasificación de este tipo. A partir de la cobertura "raster" definitiva obtenida, se procedió a la vectorización de la misma, transformándola a un formato "shapefile" de Arcview (ESRI, 1996). También para la estratificación de las categorías de bosques de ñire de Santa Cruz se utilizó la siguiente información vectorial: curvas de nivel, pendiente, catastro, reservas provinciales con bosque nativo (Reserva Provincial San Lorenzo, Reserva Provincial Tucu Tucu, Reserva Provincial Lago del Desierto, Reserva Provincial La Florida, Reserva Provincial Península Magallanes, Reserva Provincial Punta Gruesa), Parques Nacionales (Parque Nacional Perito Moreno y Parque Nacional Los Glaciares), espejos de agua (lagunas y lagos), caminos, rutas y límite provincial. La cobertura en formato vectorial, integrada por polígonos asociados a una tabla de atributos en formato "dbase", permite realizar análisis, ediciones de polígonos y tablas, y estadísticas diversas, que potencian las posibilidades de análisis geográficos sobre la cobertura de ñirantales. Posteriormente se incorporó los atributos de cada clase determinada en la leyenda, en base a lo obtenido en las parcelas de muestreo. Paralelamente, con las parcelas de muestreo y las de verificación, en formato vectorial (shapefile puntual) se incorporó en la tabla de atributos

toda la información obtenida en las parcelas de campo, incluido la digitalización manual en terreno de relictos y límites de bosque de ñire. De esta manera, con estos dos insumos elaborados fue posible realizar numerosos análisis sobre la clasificación de los ñirantales de Santa Cruz.

Resultados y Discusión

Se determinó que el ñirantal ocupa una superficie de 159.720 ha (el 30% del total de los bosques nativos de Santa Cruz), desarrollándose en ambientes diversos como laderas suaves, lomadas, colinas, morenas glaciares, llanuras y sitios bajos en los valles con suelos anegados. Este relevamiento del bosque de ñire permitió ajustar las superficies del bosque de lenga y bosque mixto (principalmente *N. pumilio-N. betuloides* y *N. pumilio-N. antarctica*) de la provincia de Santa Cruz (Tabla 1). Es importante resaltar la importancia de contar con información fidedigna de los bosques nativos para la toma de decisiones o planes de desarrollo o conservación. Por ejemplo, la superficie total de bosque nativo con que contaba en la provincia según la información disponible en 1987 era de 335.450 ha, mientras que en la actualidad con la realización del presente inventario es de 535.889 ha. Es decir, que en el pasado los organismos oficiales no contaban con la información de 200.439 ha, lo cual representa el 37% de la superficie actual de los bosques nativos de Santa Cruz. También cabe resaltar que la superficie de ñire en el pasado (según información de la Pre-carta IFONA, 1987 y digitalizada por Peri, 2004) estaba claramente subestimada a más de la mitad de la superficie actual y que la superficie de bosque mixto estaba sobre estimada en más de tres veces (Tabla 1).

Tabla 1. Superficies de los principales tipos de bosque nativo de la provincia de Santa Cruz según la evolución de la información disponible.

Tipo	Presente Inventario (2013)	Inventario Nacional (2004) ¹	Pre-carta Forestal Santa Cruz (1987) ² , digitalizada y georeferenciada (2004) ³
Lenga	369.070	462.995	236.530
Ñire	159.720	91.083	69.230
Mixto	7.099	0	29.690
Total	535.889	554.078	335.450

Fuente: ¹Dirección de Bosques – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2004), ²IFONA (1987), ³Peri (2004).

El tipo de estructura que predomina en los bosques de ñire de Santa Cruz (69% de la superficie total) corresponde al tipo Irregular. En cuanto al estado general de madurez, es notoria la predominancia de los bosques maduros, que ocupan más del 90% de la superficie del ñirantal. Los bosques de ñire mayoritariamente (91%) se desarrollan en una

Clases de Sitio V (altura de los árboles dominantes menor a 8 m). Si bien la mayor parte de los bosques presentan coberturas del dosel superior entre 30 y 60%, hay que destacar que el 40% de los mismo poseen coberturas altas (>60% cobertura de copas), y sólo el 3,4% de la superficie representan formaciones boscosas excesivamente abiertas con coberturas inferiores al 5%. Por su parte, la mayoría del área basal de los ñirantales, presentan valores intermedios entre 10 y 40 m² ha⁻¹. Respecto al volumen bruto con corteza, mientras que el 94% de los bosques presentan volúmenes menores a 150,1 m³ ha⁻¹, solo el 2,5% de los ñirantales acumulan más de 200 m³ ha⁻¹.

Se estimó que la mayor parte de los ñirantales de Santa Cruz (46,8%) poseen una acumulación total de C en el rango de 250-300 Mg C ha⁻¹, mientras que una superficie similar acumula <250 Mg C ha⁻¹. Considerando la superficie y los valores medios de acumulación de C por hectárea de los rangos de cada estrato, se estima que los bosques de ñire en Santa Cruz acumula un total de casi 45 millones de toneladas de C, de los cuales alrededor del 20% corresponde a la biomasa aérea y radicular del componente arbóreo, y el 80% restante al suelo. La tasa media anual de fijación de C del componente arbóreo total, en la mayor superficie de los ñirantales (el 73%) es <1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹. Esto se debe a que la mayoría de los ñirantales se encuentran en fases de desarrollo madura y en clases de sitio baja. Si bien estos valores son inferiores a la capacidad de fijar C de las plantaciones forestales de pino en Patagonia (3,5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en plantación de 14 años de edad) (Laclau, 2003), los ñirantales pueden fijar C por un período más largo de tiempo (> 200 años).

Tabla 2. Superficies (y porcentajes que representa cada estrato del total) respecto a la acumulación de carbono (C) del componente arbóreo total (aéreo y subterráneo) y tasa media de fijación de C del bosque de ñire de Santa Cruz.

Variable	Rangos y unidades	Superficie (ha)	% del Total
<i>Acumulación carbono total</i>	< 250 Mg C ha ⁻¹	75.976	47,6
	250 – 300 Mg C ha ⁻¹	74.601	46,8
	300,1 – 350 Mg C ha ⁻¹	1.642	1,0
	> 350 Mg C ha ⁻¹	7.317	4,6
<i>Tasa de fijación de carbono Del componente arbóreo</i>	< 1 Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹	116.780	73,2
	1 – 2 Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹	30.005	18,8
	> 2 Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹	12.752	8,0

De los valores totales presentados en la Tabla 2, es importante resaltar la importancia de las raíces en la acumulación de C de los bosques de ñire. Por ejemplo, ñirantales desarrollándose en Clase de Sitio IV (altura de los árboles dominantes entre 8 y 9,9 m), las raíces representan desde un 66% durante las fases regeneración (edad hasta 20

años) hasta un 30% del total de C fijado a partir de la fase de Crecimiento óptimo en adelante (edades mayores a los 20 años hasta los 220 años). Esta mayor proporción de raíces en los estadios iniciales se relacionaría a una estrategia del ñire para lograr un mayor anclaje ante posibles volteos por el viento, y una capacidad superior de absorción de agua y nutrientes relacionada a la fase exponencial de su curva sigmoide de crecimiento (Gargaglione et al., 2010; Peri et al., 2010, Peri, 2011).

El contenido de C en el suelo es el componente principal del ecosistema de reservorio de carbono, el cual varía considerablemente según la Clase de Sitio en donde se desarrollan los ñirantales (Tabla 3). Por ejemplo, el C total del suelo fluctuó desde 89,7 a 214,3 Mg C ha⁻¹, para bosques creciendo en Clase de Sitio V a III, respectivamente (Tabla 3). Sería importante en el futuro evaluar a nivel provincial el reservorio de C en los componentes de detritos (ramas finas y gruesas) y del sotobosque (principalmente los rodales con baja cobertura y bajo uso silvopastoril). El contenido de C en el suelo estimado en el presente trabajo fue mayor a lo informado para otras especies de *Nothofagus* (Tate et al., 1993; Hart et al., 2003) y similar a los bosques nativos de ciprés en Patagonia (Laclau, 2003).

Tabla 3. Contenido de carbono (C) de los suelos del bosque de ñire en Santa Cruz según en las Clases de Sitio donde se desarrollan.

Clase de Sitio III (altura árboles dominantes 10-11,9 m)				
Horizontes suelo	Hojarasca	Horizonte orgánico	Horizonte mineral I	Horizonte mineral I
Profundidad (cm)	0-2	2-6	6-20	20-60
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,08 (0,05)	0,49 (0,08)	0,81 (0,14)	1,08 (0,18)
Concentración de C (%)	47,4 (6,34)	16,2 (2,15)	6,3 (0,82)	2,4 (0,43)
Contenido C (Mg ha ⁻¹)	7,6 (0,9)	31,7 (3,2)	71,4 (8,2)	103,6 (9,2)
Clase de Sitio IV (altura árboles dominantes 8-9,9 m)				
Horizontes suelo	Hojarasca	Horizonte orgánico	Horizonte mineral I	Horizonte mineral I
Profundidad (cm)	0-1	1-5	5-30	30-60
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,12 (0,03)	0,41 (0,07)	1,16 (0,21)	1,32 (0,16)
Concentración de C (%)	50,2 (0,75)	14,8 (0,27)	2,3 (0,18)	0,5 (0,11)
Contenido C (Mg ha ⁻¹)	6,0 (0,9)	24,3 (0,5)	66,7 (6,9)	19,8 (1,8)
Clase de Sitio V (altura árboles dominantes < 8 m)				
Horizontes suelo	Hojarasca	Horizonte orgánico	Horizonte mineral I	Horizonte mineral I
Profundidad (cm)	0-1	1-4	4-20	20-50
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,09 (0,04)	0,65 (0,11)	0,95 (0,18)	1,08 (0,1)
Concentración de C (%)	49,6 (5,53)	9,6 (1,18)	3,1 (0,75)	0,6 (0,09)

Contenido C (Mg ha ⁻¹)	4,5 (0,8)	18,7 (3,4)	47,1 (7,5)	19,4 (3,4)
------------------------------------	-----------	------------	------------	------------

La zona de Santa Cruz con mayor superficie de ñire, y por ende la que mayor acumulación de C presenta, es la cuenca carbonífera de Río Turbio ubicada al sudoeste de la provincia. La misma posee una superficie de 132.394 ha, representando el 82% de la capacidad de fijar C en los ñirantales de la provincia (Fig. 1).

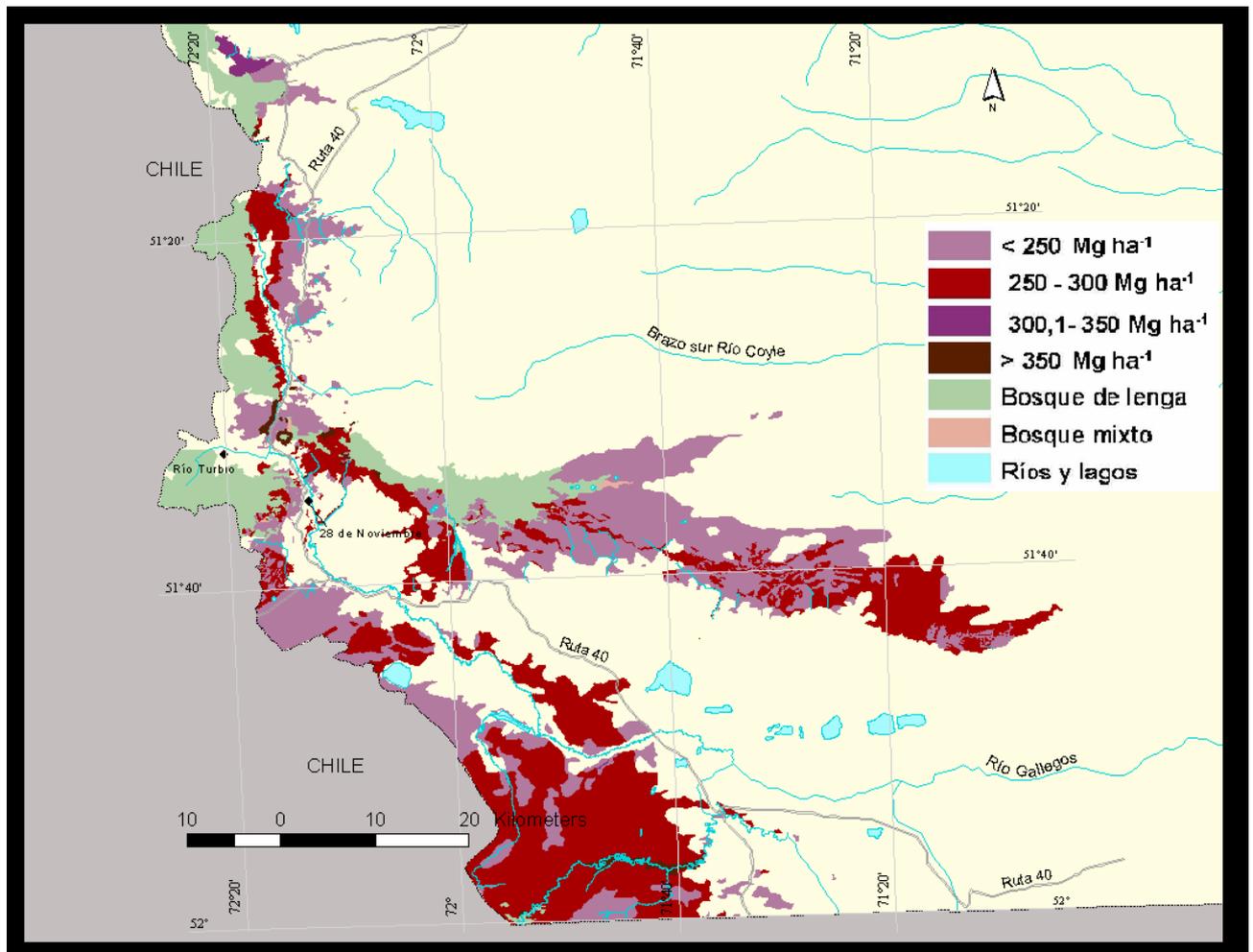


Figura 1. Distribución de la acumulación total de carbono La zona de Santa Cruz con mayor superficie de ñire, y por ende la que mayor acumulación de C presenta, es la cuenca carbonífera de Río Turbio ubicada al sudoeste de la provincia. La misma posee una superficie de 132.394 ha, representando el 82% de la capacidad de fijar C en la provincia.

Consideraciones finales

Es importante resaltar que del resultado de este inventario provincial se definió una clasificación del bosque de ñire según la capacidad de fijar carbono de los ñirantales en un sistema de información geográfica. Con la información resultante del presente trabajo y la información completa del inventario (variables de estructura, estado de los bosques, tipo de uso, biodiversidad de sotobosque, actividad ganadera y forestal, etc), y la

existencia de un marco legal (Ley Nacional de N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos), se estaría en condiciones de poder desarrollar a nivel provincial un plan de manejo sustentable de los ñirantales en Santa Cruz.

Bibliografía

- Collado L. (2001) Los bosques de Tierra del Fuego. Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la provincia. *Multequina* 10: 1-16.
- Collado L. (2009) Clasificación de los ñirantales de Tierra del Fuego. En: Relevamiento de los bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Tierra del Fuego (Argentina) como herramienta para el manejo sustentable (Ed. Pablo L. Peri), pp. 10-27. Editorial INTA, Buenos Aires, 54 pp. ISBN: 978-987-521-347-0.
- Dirección de Bosques – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2004) Atlas de los Bosques Nativos Argentinos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR, 245 pp.
- Dixon R., Brown S., Houghton R., Solomon A., Trexler M.C., Wisniewsky J. (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- ERDAS (1998) Manual de Utilización de ArcView Image Análisis. ERDAS, Inc. Atlanta. USA.
- ESRI (1996) Manual de Utilización de ArcView Gis. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA. USA.
- Gargaglione V., Peri P.L., Rubio G. (2010) Allometric relations for biomass partitioning of *Nothofagus antarctica* trees of different crown classes over a site quality gradient. *Forest Ecology and Management* 259: 1118-1126.
- Hart P.B.S., Clinton P.W., Allen R.B., Nordmeyer A.H., Evans G. (2003) Biomass and macro – nutrients (above- and below-ground) in a New Zealand beech (*Nothofagus*) forest ecosystem: implications for storage and sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 174: 281-294.
- Instituto Forestal Nacional, IFONA (1987) Pre – Carta Forestal. Provincia de Santa Cruz. 17 p.
- Ivancich H., Martínez Pastur G., Peri P.L. (2011) Modelos forzados y no forzados para el cálculo del índice de sitio en bosques de *Nothofagus antarctica* en Patagonia Sur. *Bosque* 32(2): 135-145.
- Laclau P. (2003) Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management* 180: 317–333.
- Lencinas J.D. (2002) Plan de ordenación territorial en bosques nativos de Patagonia. Investigaciones de bosques tropicales, Programa de Apoyo Ecológico (TÖB), GTZ, Eschborn, 60 pp.
- Peri P.L. (2004) Bosque Nativo. En: Guía Geográfica Interactiva de Santa Cruz (Eds. González L. y Rial P.), pp. 43-47. Capítulo completo en CD. Editorial Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. ISBN 987-521-117-6.
- Peri P.L. (2005) Sistemas Silvopastoriles en Ñirantales. *IDIA XXI Forestal*. Año V. N ° 8 pp. 255-259.
- Peri P.L., Gargaglione V., Martínez Pastur G., Lencinas M.V. (2010) Carbon accumulation along a stand development sequence of *Nothofagus antarctica* forests across a gradient in site quality in Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management* 260: 229-237.
- Peri P.L. (2011) Carbon Storage in Cold Temperate Ecosystems in Southern Patagonia, Argentina. En: Biomass and Remote Sensing of Biomass (Ed. Islam Atazadeh), pp.213-226. InTech Publisher, Croacia, 262 pp. ISBN: 978-953-307-490-0.
- Santos Biloni J. (1990) Árboles autóctonos Argentinos. *Tipográfica Editora Argentina*. 335 pp.
- Tate K.R., Ross D.J., O'Brien B.J., Kelliher F.M. (1993) Carbon storage and turnover, and respiratory activity, in the litter and soil of an old-growth southern beech (*Nothofagus*) forest. *Soil Biology Biochemistry* 25: 1601-1612.