



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

Estimación del balance de Carbono de los ecosistemas naturales de Chile continental en el siglo XXI

Memoria para optar al título de Geógrafo

LUIS MENESES RETAMAL

PROFESOR GUÍA: PAMELA SMITH GUERRA
PROFESOR CO-GUÍA: ALBERTO ALANIZ

SANTIAGO – CHILE 2020

Agradecimientos:

Primero agradecer a mis padres y hermanos por el cariño y el apoyo brindando durante este proceso, también dar las gracias a Goli, Lua y Poli por haber sido una fuente inagotable de alegría que me lleno el corazón de buenas ideas.

Agradecer también a mi profesora guía Pamela Smith, por el apoyo en materia técnica y por cada una de sus correcciones, junto a la simpatía y alegría que la caracterizan.

A mi profesor co-guía Alberto Alaniz por la buena disposición y la orientación en aspectos técnicos y también por la motivación por enseñar acerca de las bondades de nuestra rica flora y fauna.

También deseo agradecer a mis abuelos por inculcarme el amor a la naturaleza y la montaña, aspectos que me forjaron como persona.

Finalmente, a mis amigos, que siempre aportaron con su apoyo y chistes, y que generaron siempre una motivación en mi por seguir adelante y siempre ser mejor persona. Gracias por cada uno de esos encuentros donde pude reírme y despejarme.

Resumen:

El cambio climático sumado a acciones antrópicas, han contribuido a la degradación de diversos ecosistemas naturales a lo largo del país, generando que existan cambios en los valores de su biomasa y en su dinámica de carbono. Junto a lo anterior, la falta de estudios y análisis con respecto a este tema, han brillado por su ausencia, generando que exista poco conocimiento respecto al estado de los ecosistemas de Chile continental. Por ello, es que, por medio del uso de sistemas de información geográficas, se ha estimado la dinámica de balance de carbono en los ecosistemas naturales, pisos vegetacionales y áreas protegidas (privadas-públicas) para los años 2000-2015. Dividiendo el objeto de estudio en varias aristas, permitió el generar análisis variados con respecto a la variable que se esté enfocando, encontrando que existen diversos ecosistemas en buen estado y otros que se encuentran en un punto preocupante. Se ha comprobado que el cambio climático, y las actividades humanas, ayudan a degradar los diversos ecosistemas del país, sumado a que dentro del territorio se debe sumar la variable de incendios forestales, elemento que aporta de manera no menor a dicha dinámica.

Índice:

1. Introducción	6
2. Planteamiento del problema	7
3. Marco Teórico.....	9
3.1. Ecosistemas.....	9
3.2. Biodiversidad.....	11
3.3. Biomasa	12
3.4. Balance de carbono y sumideros de carbono	13
3.5. Cambio climático, especies vulnerables y absorción de CO ₂	15
4. Objetivos.	18
4.1. Objetivo General	18
4.2. Objetivos específicos.....	18
5. Marco metodológico	19
5.1. Generación de la base de datos de AGB.....	19
5.2. Estimación de la dinámica del carbono en la vegetación natural de Chile continental de forma espacialmente explícita (Obj. Esp. 1).....	22
5.3. Análisis de las tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental según formación vegetacional y ecosistema. (Obj. Esp. 2)	22
5.3.1 Formaciones de vegetación.....	22
5.3.2. <i>Ecosistema</i>	24
5.3.3. <i>Dinámica según unidad de análisis (formación y piso)</i>	25
5.3) Análisis de las tendencias y dinámicas de la vegetación de Chile continental según tipo y unidad de Área Silvestre Protegida (Obj. Esp. 3)	25
6. Resultados.....	27
6.1. Dinámica del carbono en la vegetación natural de Chile continental	27
6.2. Tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental según ecosistema y formación vegetacional	31
6.2.1. Tendencias y dinámicas del carbono según formación vegetacional para Chile continental	31
6.2.2. Tendencias y dinámicas del carbono según ecosistema para Chile continental:	34
6.3. Tendencias y dinámica de carbono de la vegetación de Chile continental según tipo y unidad de área silvestre protegida	39
6.3.1. Análisis de las tendencias y dinámica de la vegetación de Chile continental según tipo de área protegida.....	39
6.3.2. Análisis de las tendencias y dinámica de la vegetación de Chile continental según unidad de área protegida.....	42
7. Discusiones y Conclusiones	48

8. Bibliografía.....	55
9. Anexos	62
Anexo N°1: Pasos metodológicos seguidos en el documento.....	62
Anexo N°2: Variaciones de carbono resumidos por formación vegetacional.....	63
Anexo N°3: Variaciones de carbono resumidos por piso vegetacional.....	63
Anexo N°4: Nombres de ID de pisos vegetacionales.....	67
Anexo N°5: Variaciones de carbono resumidos por tipo de área protegida.....	70
Anexo N°6: Variaciones de carbono resumidos por unidad de área protegida.....	70

Índice de figuras:

Figura N°1:Ciclo del Carbono.....	14
Figura N°2. Esquema metodológico de la generación y análisis de datos	20
Figura N°3 Correlación de la cobertura AGB con los productos satelitales: FPAR, VCF, NPP, LAI y EVI	21
Figura N°4 Procedimientos ocupados en los archivos de Formación y Piso vegetacional	25
Figura N°5 Procedimientos ocupados en los archivos de ASP por unidad y tipo	26
Figura N°6 Dinámica de Carbono entre los paralelos 18°S y 38°S	28
Figura N°7 Dinámica de Carbono entre los paralelos 38°S y 55°S	30
Figura N°8 Dinámica de carbono para las Turberas.....	32
Figura N°9 Dinámica de carbono para la formación de Bosque Caducifolio	33
Figura N°10 Dinámica de carbono para la formación de Bosque Resinoso	34
Figura N°11 Dinámica de Carbono entre los paralelos 18°S y 38°S según Piso Vegetacional	36
Figura N°12 Dinámica de Carbono entre los paralelos 38°S y 55°S según piso vegetacional	38
Figura N°13 Dinámica de carbono para Áreas protegidas privadas.....	39
Figura N°14 Dinámica de carbono para Monumentos Naturales	40
Figura N°15: Dinámica de carbono para Parques Nacionales	41
Figura N°16 Dinámica de carbono para Reservas Nacionales	42
Figura N°17 Dinámica de carbono en el parque nacional Laguna San Rafael.....	43
Figura N°18 Dinámica de carbono en la reserva nacional Katalalixar.....	44
Figura N°19 Dinámica de carbono en el Área protegida privada Karukinka.....	45
Figura N°20 Dinámica de carbono en el Parque Nacional Alberto de Agostini.....	46
Figura N°21 Dinámica de carbono en el parque nacional Bernardo O'Higgins	47
Figura N°22 Dinámica de carbono en el parque nacional Kawésqar	47
Figura N°23 Número, superficie y frecuencia de incendios entre el año 2000 al 2018. (Carvajal y Alaniz (S/F)	53

Índice de tablas:

Tabla N°1 Funciones básicas de los ecosistemas.....	10
Tabla N°2 Tablas con valores de materia seca según tipo/bioma de vegetación.....	21
Tabla N°3 Formaciones y sus ecosistemas más importantes según km ²	23
Tabla N°4 Años clasificados por comportamientos de Niño o Niña	48

1. Introducción

La pérdida, degradación y fragmentación del hábitat continúan amenazando los ecosistemas en todo el mundo (Tittensor *et al.*, 2014). Junto a lo anterior, la biodiversidad está en crisis y las poblaciones silvestres disminuyen (McCauley *et al.*, 2015). A nivel nacional esto tampoco es distinto, ya sea por factores naturales antrópicos, los ecosistemas naturales, se están viendo amenazados y no existe una metodología unificada para poder llevar a cabo dichos estudios.

Varias iniciativas han surgido a nivel global para visibilizar lo dicho anteriormente, Murray *et al.* (2018) mencionan, por ejemplo, la adopción de los Objetivos de Aichi 2020, acordados por 194 naciones en virtud del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2014) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (PNUD, 2015), ambos incluyen explícitamente objetivos sobre la conservación y restauración de los ecosistemas y su biota característica.

El estado de la biodiversidad de un ecosistema está íntimamente relacionado con la biomasa de un área en específico, tal como lo han mencionado Li *et al.* (2017). Esto significa que existe una relación entre diversidad de especies y biomasa, siendo aplicable en la mayoría de los ecosistemas forestales en todo el mundo, y la pérdida de especies en estos ecosistemas tiene un impacto negativo en sus funciones.

Muchas fuentes de datos son relevantes para la evaluación de la conservación de los ecosistemas, incluidos los programas de monitoreo a corto y largo plazo, los estudios de campo y los sensores subacuáticos, aéreos y satelitales. De estos, la teledetección satelital ofrece la mayor oportunidad para evaluar el cambio del ecosistema más allá del nivel del sitio (Turner *et al.*, 2003).

La teledetección, permite obtener y procesar una serie de imágenes temporales para estudiar el estado y evolución de los distintos ecosistemas a lo largo del país, en este sentido Murray *et al.* (2017) señala que, para lograr mapas precisos de series de tiempo de alta resolución de distribuciones de ecosistemas, a menudo es necesario alojar grandes cantidades de datos espaciales y gestionar flujos de trabajo altamente técnicos. Las nuevas plataformas de análisis geoespaciales, como, por ejemplo, *Google Earth Engine*, han resuelto muchas limitaciones de la teledetección a escala de ecosistemas, almacenando archivos de datos espaciales de gran tamaño y permitiendo a los usuarios desarrollar análisis complejos sin costo alguno.

En este punto han aparecido estudios que han investigado el estado de diversos ecosistemas usando como medio los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya sea a escala regional (Baccini *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017) como también nacional, algunos de ellos han sido realizados para el caso chileno (Pliscoff *et al.*, 2012; Carvajal y Alaniz, S/F; Alaniz *et al.*, 2016).

Si bien existe una amplia literatura sobre este tema, todavía siguen siendo escasas las investigaciones sobre el real estado de conservación de los ecosistemas naturales de Chile continental, así, esta investigación analiza la dinámica de carbono en los ecosistemas nacionales, considerando el uso los sistemas de información geográficas como herramienta principal, con el fin de poder aumentar el conocimiento sobre el estado de conservación de los ecosistemas naturales, durante el periodo de 2000-2015, determinando si su comportamiento los define como emisores o sumideros de CO₂.

2. Planteamiento del problema

La biodiversidad del planeta está siendo severamente afectada por las modificaciones, sin precedentes, inducidas por las actividades humanas sobre los ecosistemas, entre las cuales destacan el cambio de usos del suelo, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la destrucción y fragmentación de hábitats, la introducción de especies exóticas y la alteración de las condiciones climáticas (MEA, 2005).

Tal como se ha mencionado previamente, existe una relación entre Biodiversidad y biomasa, y también entre el balance de carbono y la biomasa de un ecosistema natural. Se ha hablado en reiteradas oportunidades sobre la importancia de tener un método que permita estimar la biomasa, aplicable a gran parte de los ecosistemas y que sea robusto en su categorización, de ello Brown *et al.* (1996) señalan que una correcta estimación sobre la biomasa en un ecosistema nos hablaría sobre la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmosfera o conservado y fijado en una determinada superficie. -A lo anterior, se suma el hecho de que una correcta estimación de la biomasa es un elemento que permite poder determinar los montos de carbono presente en cada uno de los componentes del ecosistema natural.

La vegetación absorbe dióxido de carbono por medio del proceso fotosintético y los árboles, en general, almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordoñez *et al.*, 2015). Los bosques tienen la posibilidad de mitigar los gases de efecto invernadero (GEI) por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales, conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión (Masera, 1996).

Por ende, la cantidad y calidad de la vegetación aérea podría ser un indicador del estado de un ecosistema en particular, con ello Locatelli & Leonard (2001) agregan que, cuando un bosque crece, este va restando carbono a la atmósfera, lo que da cuenta de la importancia de dichos ecosistemas en términos de stock de carbono, reteniendo el 80% del carbono aéreo y el 40% del carbono subterráneo total del planeta.

De acuerdo con lo anterior, Pettorelli *et al.* (2017) señalan que las funciones de los ecosistemas rara vez se miden, especialmente en grandes áreas, donde el

monitoreo de la biodiversidad en su conjunto históricamente ha considerado principalmente las características estructurales y de composición de los sistemas observados, más que sus características funcionales. Sumado a lo anterior, Tulloch *et al.* (2016) señalan que la mayoría de las evaluaciones de los ecosistemas y los esfuerzos de conservación no logran explicar las funciones debido a una falta de datos espaciales adecuados para mapear estas características.

La posibilidad de estudiar la dinámica de carbono requiere contar con una gran cobertura de datos, frente a esto la teledetección satelital, según Pettorelli *et al.* (2016), es la única metodología actualmente capaz de proporcionar cobertura global y medidas continuas en el espacio, a resoluciones espaciales y temporales relativamente altas.

Una herramienta que nos puede ayudar a realizar lo anteriormente mencionado corresponde al software *Google Earth Engine*, que se ha masificado, debido a que es un programa de acceso gratuito, aun cuando requiere manejo de ciertos componentes y lenguajes técnicos, tanto de percepción remota como de programación.

Frente a todo lo anterior, y sumado al hecho de que no exista un estudio a nivel nacional sobre los estados de los ecosistemas en Chile, se propone desarrollar un trabajo que permita evaluar los cambios en el carbono de los ecosistemas naturales del país para el siglo XXI, a través de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál ha sido la dinámica del balance de carbono de los ecosistemas naturales de Chile en el siglo 21?

3. Marco Teórico:

3.1. Ecosistemas

Este elemento es quizás una de los más importantes dentro de este documento, ya que existen varias definiciones que se refieren al ecosistema, frente a ello, nos basaremos en la definición de Murray *et al.* (2018), quienes lo definen como complejos de organismos y su entorno físico dentro de un área particular. Existen también definiciones de ecosistema ligadas a lo económico, por ejemplo Gómez-Baggethun & de Groot (2007) entienden este concepto como la fuente de todos los materiales y la energía procesados a lo largo del sistema productivo, hasta su transformación en bienes o servicios de consumo, además, entendiendo que algunos de los beneficios que nos generan los ecosistemas se obtienen a través de los mercados, mientras que otros son consumidos o disfrutados por los humanos sin la mediación de transacciones mercantiles.

Junto a ello, Tansley (1935), reconoce cuatro elementos esenciales asociados a ellos: un complejo biótico, un entorno abiótico, las interacciones dentro y entre ellos, y un espacio físico en el que operan. Otra característica importante, según Zhu *et al.* (2016) es que los ecosistemas están sujetos a condiciones ambientales naturales con variaciones temporales y espaciales, como la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de nutrientes, así como a las influencias de otras especies y actividades humanas.

Los ecosistemas naturales cumplen un rol importante en la vida de los seres humanos, ya que según Dallimer *et al.* (2012) las personas valoran y se relacionan con los ecosistemas y los lugares, aunque es posible que no reconozcan muchas de sus especies componentes. Junto a eso, en palabras de Daily (1997) los ecosistemas nos abastecen de bienes tales como agua, madera, material de construcción, energía, medicinas, recursos genéticos, etc. Asimismo, ponen a nuestra disposición de forma gratuita toda una serie de servicios tales como la regulación del clima, el procesamiento de contaminantes, la depuración de las aguas, la actuación como sumideros de CO₂, la prevención contra la erosión y las inundaciones, etc.

Del fragmento anterior, se puede entender que los ecosistemas tienen un valor intrínseco añadido por el ser humano, ya que este entiende su dependencia hacia estos elementos naturales, es por ello por lo que se entenderá servicio ecosistémico, como el vínculo explícito entre el estado y funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano (Balvanera & Cotler, 2007). La relación anterior puede ser directa o indirecta, y los seres humanos pueden o no estar conscientes de su existencia. El entender la definición de servicio ecosistémico nos facilita el poder comprender la importancia que tienen los ecosistemas para los seres humanos y para su vida en general, ya que gran parte de los recursos necesarios

proviene de distintos ecosistemas a lo largo del mundo.

Dada la definición anterior, es necesario conceptualizar lo que se entenderá por “funciones de los ecosistemas”, para ello y en palabras de De Groot (1992) se entenderán como todos aquellos aspectos de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas con capacidad de generar servicios que satisfagan necesidades humanas de forma directa o indirecta. En la tabla N°1 se muestra la clasificación de 23 funciones básicas de los ecosistemas agrupadas según De Groot (2006):

Tabla N°1 Funciones básicas de los ecosistemas.

Funciones	Componentes y procesos de los ecosistemas	Ejemplos de bienes y servicios
1. Regulación atmosférica	Mantenimiento de los ciclos Biogeoquímicos (equilibrio CO ₂ /O ₂ , capa de ozono, etc.)	Protección del ozono frente a los rayos UVA y prevención de enfermedades Mantenimiento de la calidad del aire Influencia en el clima
2. Regulación Climática	Influencia sobre el clima ejercida por coberturas de suelo y procesos biológicos	Mantenimiento de un clima adecuado para la salud, la agricultura, etc.
3. Amortiguación de perturbaciones	Influencia de las estructuras ecológicas en la amortiguación de perturbaciones naturales	Protección frente a tormentas o inundaciones
4. Regulación hídrica	Papel de cobertura del suelo en la regulación de la escorrentía mediante las cuencas de drenaje	Drenaje e irrigación natural
5. Disponibilidad hídrica	Percolación, filtrado y retención de agua dulce.	Disponibilidad de agua para usos consuntivos
6. Sujeción del suelo	Papel de las raíces de la vegetación y fauna edáfica en la retención del suelo	Prevención de la erosión
7. Formación del suelo	Meteorización de la roca madre y acumulación de materia orgánica	Mantenimiento de la productividad de los cultivadas
8. Regulación de nutrientes	Papel de la biodiversidad en el almacenamiento y reciclado de nutrientes	Mantenimiento de la salud del suelo
9. Procesado de residuos	Papel de la vegetación y de la fauna en la eliminación y procesado de nutrientes y contaminantes orgánicos	Filtrado de aerosoles
10. Polinización	Papel de la fauna en la dispersión de gametos florales	Polinización de especies silvestres
11. Control biológico	Control de poblaciones mediante relaciones tróficas dinámicas	Control de plagas
12. Función de refugio	Provisión de espacios habitables a la fauna y flora silvestre	Mantenimiento de la biodiversidad
13. Criadero	Hábitats adecuados para la reproducción	Mantenimiento de la biodiversidad
14. Comida	Conversión de energía solar en animales y plantas comestibles	Caza, recolección y pesca
15. Materias primas	Conversión de energía solar en biomasa para construcción y otros usos	Combustibles y energía
16. Recursos genéticos	Material genético y evolución en animales y plantas silvestres	Mejora de cultivos frente a plagas y agentes patógenos
17. Recursos medicinales	Sustancias bio-geoquímicas	Medicina y otras drogas
18. Elementos decorativos	Especies y ecosistemas con usos decorativos potenciales	Materiales para artesanía, joyería, adoración, etc.

19. Información estética	Oportunidades para el desarrollo cognitivo	Disfrute paisajístico
20. Función recreativa	Variedad de paisajes con uso recreativo potencial	Ecoturismo
21. Información artística y cultural	Variedad de características naturales con valor artístico	Expresión de la naturaleza en libros, películas, etc.
22. Información histórica	Variedad de características naturales con valor histórico y espiritual	Uso de la naturaleza con fines históricos o culturales
23. Ciencia y educación	Variedad de características naturales con valor educativo y científico	Usos con fines científicos o educacionales

Fuente: De Groot (2006)

3.2. Biodiversidad

Un concepto altamente ligado al de *ecosistema* es el de *biodiversidad*. La literatura especializada, señala que un ecosistema en un buen estado es uno que posee una biodiversidad amplia.

En palabras de Gómez Giraldo (2011) la biodiversidad es fruto de una evolución ramificada -no lineal- de la biosfera, pero responde más que a un proceso inherente, a uno de interacción biosistema/entorno.

Un autor que señala la importancia de este concepto es Varea (2004), quien menciona que la biodiversidad es un recurso indispensable, pues muchos de nuestros intereses y necesidades cotidianas se relacionan con el manejo y conservación de la biodiversidad: la alimentación, la vivienda, el transporte, la salud, entre otros aspectos, además, se relaciona directamente con los recursos naturales disponibles para satisfacer las necesidades elementales de las poblaciones locales.

Siguiendo con el mismo autor señalado anteriormente, el valor ecológico de la biodiversidad tiene que ver con las funciones reguladoras de los procesos ecológicos y las interacciones entre los diversos organismos y su entorno. La estabilidad climática, protección de cuencas hidrográficas y de áreas sensibles a la erosión y el control de la sedimentación, se relacionan con las funciones reguladoras. La naturaleza, en buen estado, fija la energía solar y permite la producción de biomasa, el almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y nutrientes, el control biológico de plagas y el mantenimiento de los procesos evolutivos. La renovación de los recursos vitales (agua, aire y suelo) depende de la protección de la biodiversidad.

Santiago (2007) agrega que la biodiversidad, está conformada por una serie de ámbitos que van desde la diversidad genética, y pasan por la diversidad individual, la diversidad poblacional, la diversidad de especies, y la variación de todos estos aspectos que se puede dar dentro de una sola especie confinada en la complejidad de un ecosistema.

Hooper *et al.* (2005) mencionan que la **biodiversidad** puede ser descrita en términos de número, abundancia, composición y distribución espacial de sus entidades (genotipos, especies, o comunidades dentro de los ecosistemas),

caracteres funcionales, así como las interacciones entre sus componentes. Martín-López *et al.* (2008) señalan que la pérdida de alguno de estos componentes de la biodiversidad puede tener distintos efectos en el funcionamiento de los ecosistemas y, por tanto, en el suministro de los servicios que esta provee a la sociedad.

Para complementar las definiciones expuestas con anterioridad, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2000) agrega que la biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprendiendo también la variación dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas.

Por otra parte, Noss (1990) menciona que la biodiversidad posee tres atributos principales: composición, estructura y función, que pueden rastrearse en múltiples niveles de organización biológica, desde el ecosistema hasta la especie y genética. Su estudio puede abordarse a partir de tres grandes preguntas en cada uno de sus niveles: ¿Qué elementos la componen?, ¿Cómo están organizados? Y ¿Cómo interactúan?

La biodiversidad también se puede ver perjudicada debido a distintos motivos, por ejemplo, Pugnaire (2006) menciona que son varios los factores que inciden en la pérdida de biodiversidad a nivel global, incluyendo el cambio de usos del suelo, el cambio climático, la deposición de nitrógeno, el aumento de CO₂ y las invasiones biológicas.

3.3. Biomasa

La biodiversidad está muy relacionada con lo que se conoce como biomasa. Li *et al.* (2017) señalan que la relación entre biodiversidad y biomasa son omnipresentes en la mayoría de los ecosistemas forestales en todo el mundo, y la pérdida de especies tiene un impacto negativo en el funcionamiento de los ecosistemas.

Para ahondar en lo señalado anteriormente, Brown y Lugo (1984) definen biomasa como la cantidad total de materia orgánica vegetal viva almacenada en las porciones aéreas y subterráneas de los ecosistemas por unidad de área en un momento dado, expresándose en g/m² o t/ha. Otros autores que también se aventuran definiendo lo que se conoce como biomasa son Montero *et al.* (2005) quienes señalan que la biomasa se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo de la superficie del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, o a través de valores modulares por clases diamétricas.

Desde un punto de vista energético la biomasa también tiene su propia concepción, según Drapcho *et al.* (2008) el estudio de potencial energético de la biomasa desde el punto de vista de su aprovechamiento en la producción de combustibles (y que eventualmente pudiesen reemplazar a los combustibles fósiles) se ha extendido por

todo el mundo desde 1900, lo cual ha permitido avanzar en el mejoramiento de los procesos de producción a través del perfeccionamiento de las técnicas actuales para el procesamiento de la biomasa.

Entonces y por lo anteriormente señalado, la biomasa como fuente de producción de energía puede clasificarse en tres tipos, los cuales incluyen cultivos bioenergéticos, residuos agrícolas y residuos forestales (Karaj *et al.* 2010). La biomasa también podría clasificarse en función de su transformación en energía útil, para lo cual podrían distinguirse los usos térmicos en la producción de calor y agua caliente sanitaria y los usos eléctricos en la generación de energía eléctrica industrial y doméstica. También debe incluirse su uso en la automoción, principalmente en la producción de biodiesel y bioetanol (Ministerio de Minas y Energía, 2008).

Donoso *et al.* (2002) agregan que la estimación de la biomasa y la productividad primaria son parámetros que reflejan la salud del ecosistema y permiten generar hipótesis sobre las repercusiones que la perturbación antrópica ocasiona sobre la dinámica del bosque.

3.4. Balance de carbono y sumideros de carbono

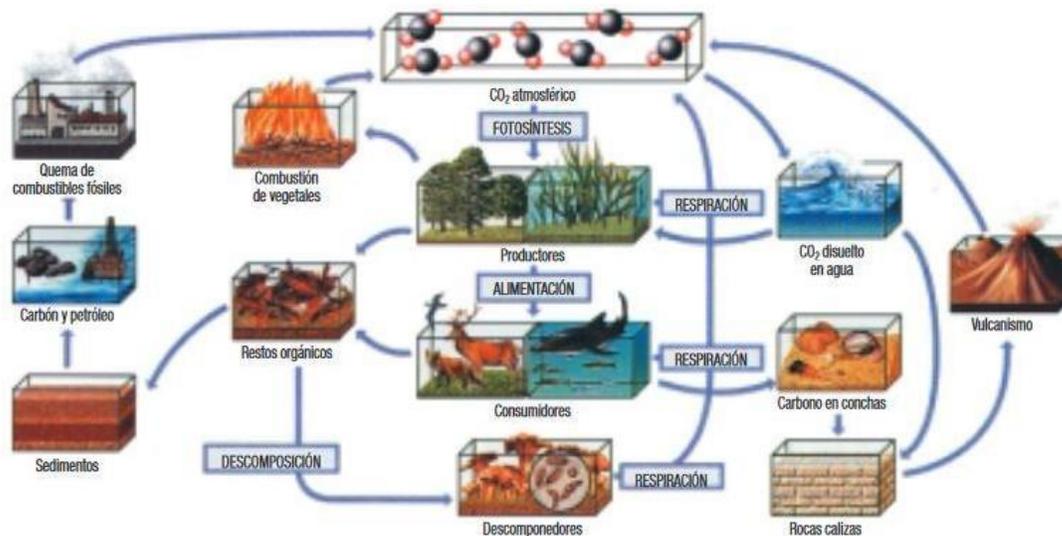
Tal como existe una relación entre biodiversidad y biomasa, también la hay entre el balance de carbono y la biomasa de un cierto ecosistema natural. Se ha hablado en reiteradas veces sobre la importancia de tener un método que permita estimar la biomasa de un ecosistema natural cualquiera, aplicable a gran parte de los ecosistemas y que sea robusto en su categorización, de ello Brown *et al.* (1996) señala que una correcta estimación sobre la biomasa en un ecosistema nos hablaría sobre la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada superficie. Añadido a lo anterior, se incorpora el hecho de que una correcta estimación de la biomasa es un elemento que nos permite poder determinar los montos de carbono presente en cada uno de los componentes del ecosistema natural.

Agregando información a lo señalado antes y en palabras de Ordoñez *et al.* (2015), la vegetación absorbe dióxido de carbono por medio del proceso fotosintético y los árboles en general almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques tienen la posibilidad de mitigar los gases de efecto invernadero por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión (Maser, 1996).

En palabras de Montero *et al.* (2005), el carbono está en constante circulación entre la materia muerta y la viva; las plantas verdes fijan el carbono de la atmósfera que pasa a formar parte de su biomasa. La respiración de los bosques, el desfronde, el desprendimiento de los órganos reproductivos y la muerte de los árboles devuelven a la atmósfera parte del carbono absorbido mediante la fotosíntesis.

Junto a lo anteriormente mencionado, Montero *et al.* (2005) agregan que la existencia de vida en la Tierra depende de la circulación del carbono entre las diferentes partes constitutivas del planeta (biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera). Este movimiento del carbono se conoce como *ciclo del carbono*, ya que tarde o temprano cada átomo del elemento habrá pasado por todos los depósitos mencionados. El ciclo del carbono incluye todas las formas vivas de la Tierra, ya que entre el 45 y el 50% del peso (materia seca) de los seres vivos está formado por carbono, para más información revisar la figura N°1.

Figura N°1:Ciclo del Carbono



Fuente: Pedrinaci y Gil (2003).

La FAO (2005) agrega que, dentro de los suelos, la distribución del carbono es aproximadamente la siguiente: 4% en residuos vegetales y animales, que pueden permanecer así durante varias decenas de años, 22% formando parte de los ácidos fúlvicos del suelo, y el 74% restante está integrado en los ácidos húmicos y puede permanecer fijado más de 1.000 años.

Junto a ello Montero *et al.* (2005) señala que el carbono fijado en el suelo es la resultante del balance entre los aportes de los restos vegetales que se incorporan anualmente y las emisiones hacia la atmósfera, originadas por la descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo. En los climas fríos la aportación por desfronde suele ser mucho mayor que la descomposición, y el resultado se traduce en una gran acumulación de carbono en el suelo, como sucede en la tundra y en la taiga, que se acumula en forma de grandes masas de turba.

Por ende, la vegetación aérea en este aspecto es un componente que nos podría estar hablando del estado de un ecosistema en particular, con ello Locatelli & Leonard (2001) agregan que cuando un bosque crece, este va restando carbono a la atmósfera, lo que significa que dichos ecosistemas son particularmente

importantes en términos de stock de carbono, reteniendo el 80% del carbono aéreo y 40% del carbono subterráneo. Lo anteriormente señalado, es un factor de suma importancia al momento de hablar sobre la relevancia que tiene la conservación de áreas boscosas, ya que actúan reteniendo carbono e impidiendo que sea liberado a la atmósfera.

Autores que se han referido a esto, por ejemplo, son Baccini *et al.* (2017) quienes han señalado que los bosques tropicales almacenan grandes cantidades de carbono y que los bosques nativos intactos se consideran *sumideros netos de carbono*. Entendiendo esto, como cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe –o captura– un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera, todo esto según el artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

En definitiva, se puede afirmar que los bosques actúan como sumideros, ya que almacenan grandes cantidades de carbono durante períodos prolongados en sus tejidos (madera), al incrementar su biomasa anualmente debido al crecimiento, y también son fuentes de emisión debido a las pequeñas perturbaciones, como la mortalidad natural, a las grandes perturbaciones como los incendios, al desfronde y a otros procesos como la descomposición y oxidación de productos forestales.

3.5. Cambio climático, especies vulnerables y absorción de CO₂

En palabras de Pliscoff *et al.* (2012) el cambio climático impulsado antropogénicamente es producto del aumento los gases de efecto invernadero como el CO₂ y el metano en la atmósfera, que son resultado de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y los cambios en los patrones de uso de la tierra. Los modelos actuales sugieren que el planeta podría calentarse entre 1,8 y 4 °C para 2090-2099 en relación con 1980-1999, con cambios asociados en la distribución de las precipitaciones y el aumento del nivel del mar.

Pugnaire (2006) señala que la biodiversidad del planeta se puede ver afectada de distintas maneras, ya sea a corto o largo plazo. Dentro de esos factores que inciden en su pérdida a nivel global, podemos encontrar los cambios en los usos de suelo, la deposición de nitrógeno, el aumento de CO₂, invasiones biológicas y el cambio el climático.

Este último, es el proceso que ha estado haciendo cada vez más ruido, tanto en los distintos medios escritos, como en las comunidades científicas. Así, por ejemplo, Díaz Cordero (2012) menciona que la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como una alteración de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Junto a ello Moya *et al.* (2005)) agregan que el aumento de la temperatura, el crecimiento del nivel del mar, la mayor ocurrencia de sequías e inundaciones son algunas de las consecuencias de dicho

fenómeno.

Otra característica del cambio climático, según Bolin *et al.* (1986) radica en que sus efectos negativos se acentúan por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero "GEI". Sumado a lo anterior, Rojo *et al.* (2003) señalan que los GEI presentes en la atmósfera desempeñan un papel clave en el sistema climático, ya que, aunque sólo dejan pasar las radiaciones de onda corta hacia la Tierra, absorben las de onda larga y las vuelven a irradiar indiscriminadamente, manteniendo caliente la baja atmósfera y la superficie terrestre.

Rojo *et al.* (2003) agregan que a pesar de que el vapor de agua es responsable en un 80 % de dicho efecto, existen también los gases denominados traza (dióxido de C, metano, óxido de nitrógeno y los halo clorofluorocarbonos –HCFC–) que, aunque están presentes en pequeñas concentraciones, son importantes en el fenómeno. El aumento excesivo en la concentración de estos gases traza causados por el ser humano, repercuten en el cambio climático de manera negativa. Los mismos autores señalados antes señalan que, de estos gases traza el CO₂ tiene un efecto proporcional de 49 - 67 % en el calentamiento global con respecto a los otros gases, mientras que el impacto de los otros equivale a la mitad del causado por éste, por lo que es de suma importancia conocer el incremento de C en la atmósfera.

El cambio climático es de carácter complejo, ya que están vinculados una serie de elementos, que dificultan su manejo. Henríquez (2016) menciona que en el cambio climático confluyen aspectos físicos, como los parámetros del clima: temperatura, precipitación, nubosidad, derretimiento de hielos, salinidad, circulación oceánica, entre otros; como también, una serie de aspectos humanos: quema de combustibles fósiles, cambios en los usos/coberturas de suelo, deforestación, entre otros. Además de ello, el mismo autor señala que las consecuencias globales más significativas son el aumento de la temperatura, cambio en los patrones de precipitaciones, aumento del nivel del mar y también, una serie de efectos que impactan directamente en la sociedad, como, por ejemplo: ciclones, inundaciones, sequías, olas de calor.

Las especies que podrían llegar a ser vulnerables frente al cambio climático tienen una serie de características que hacen posible el poder reconocerlas, McKinney (1997) menciona que la vulnerabilidad de una especie ante el calentamiento global hace referencia a su capacidad para responder y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, de manera que aquellas especies que tengan una capacidad de respuesta limitada serán las más vulnerables.

En palabras de Arribas *et al.* (2012) la vulnerabilidad de una especie ante el cambio climático dependerá fundamentalmente de dos factores: i) su capacidad para mantener poblaciones en su área de distribución actual, a pesar del cambio en las condiciones ambientales (persistencia), y ii) el potencial para colonizar zonas actualmente deshabitadas pero que serán climáticamente favorables en el futuro.

En el primer factor, las especies con mayor capacidad de persistencia serán

aquellas que tengan amplios rangos de tolerancia climática y alta plasticidad para adecuar sus preferencias a las nuevas condiciones climáticas en las localidades habitadas. Así, sin necesidad de modificar su rango de distribución, las especies pueden lidiar con el cambio en las condiciones climáticas de sus localidades si estas nuevas condiciones se encuentran dentro de sus rangos de tolerancia, todo esto en base a Arribas *et al.* (2012).

Para Arribas *et al.* (2012), en el segundo caso la modificación del área de distribución (migración) puede considerarse el mecanismo de respuesta más inmediato; es decir, si el cambio en las condiciones climáticas no favorece el mantenimiento de una especie en un determinado lugar, ésta intentará migrar a lugares con condiciones más adecuadas.

Además de lo mencionado, las masas forestales juegan un rol fundamental en el flujo de carbono (C), ya sea a nivel micro como a nivel macro de una localidad en específico. Rojo *et al.* (2003) señalan que las masas forestales desempeñan un papel primordial en el ciclo del C porque almacenan grandes cantidades de éste en la vegetación y el suelo, lo intercambian con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. Junto a esto, los mismos autores agregan que las masas forestales, sean bosques, selvas, o vegetación xerófila y ribereña; juegan un papel importante en la fijación y retención del carbono emitido antrópicamente a la atmósfera; la conservación de las masas forestales existentes, favoreciendo su regeneración e incrementando su biomasa leñosa, se considera una vía efectiva para la retención de una parte del carbono atmosférico.

Según Hoen y Solberg (1994), la producción forestal influye en el flujo del C, en forma de CO₂, desde y hacia la atmósfera por dos procesos, la fijación (asimilación) y la emisión, respectivamente. El primero representa el incremento en biomasa en árboles vivos mediante la fotosíntesis, mientras que el segundo representa la descomposición de la biomasa como una consecuencia de la mortalidad natural o la explotación relacionada con el hombre y los usos finales de los bosques, la selva y la vegetación xerófila y ribereña.

Benjamin & Masera (2001) agregan que, una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (e.g. follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementando su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Estimar la dinámica del balance de carbono en los ecosistemas naturales y áreas silvestres protegidas de Chile continental durante el siglo XXI.

4.2. Objetivos específicos

1. Analizar la dinámica del carbono de carbono en la vegetación natural de Chile continental de forma espacialmente explícita
2. Analizar las tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental, según formación vegetacional y ecosistema.
3. Analizar las tendencias y dinámica de la vegetación de Chile continental según tipo y unidad de área silvestre protegida

5. Marco metodológico

Teniendo como objetivo general del presente documento el “Estimar la dinámica del balance de carbono en los ecosistemas naturales y áreas silvestres protegidas de Chile continental observada durante el siglo XXI”, a continuación, se presenta el anexo N°1 para mostrar los procedimientos seguidos en este documento. Dentro de él se muestran la elaboración de los distintos objetivos específicos que contribuyen a la elaboración del objetivo general y que serán descritos a continuación.

5.1. Generación de la base de datos de AGB

De un punto de vista amplio, este objetivo consistió en la creación de una cobertura de stock de carbono para Chile continental. Esto se logró, usando un mosaico con mapas de distintos estudios sobre AGB (Aboveground biomass), los cuales fueron procesados, para poder posteriormente usarlos en la creación de una cobertura de biomasa aérea global, todo esto por medio de uso de sistemas de información geográfica, todo lo mencionado antes, fue resumido gráficamente en la figura N°2.

Para la elaboración de dinámica de carbono, se trabajó con 15 coberturas (2000-2015) de biomasa aérea (AGB) de Alaniz y Carvajal (S/F), obtenidas de un repositorio de archivos facilitado por el autor. Estas capas geoespaciales, fueron obtenidas por Alaniz y Carvajal, en un proceso que se puede resumir en dos puntos:

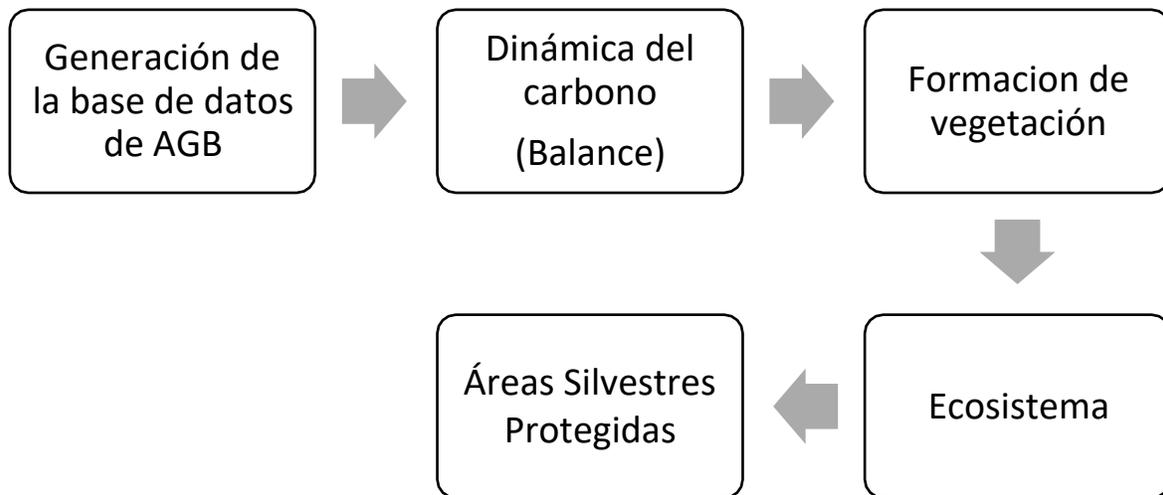
- A) Revisión bibliográfica: En un primer punto, se realizó una búsqueda bibliográfica en Web of Science, en la cual se reunieron artículos que estimaran AGB y tuvieran una cobertura continental. Inicialmente se encontraron 918 estudios, de los cuales 8 cumplieron con ambos criterios. De manera posterior, se homogeneizaron los archivos bajo el sistema de proyección WGS 1984, y finalmente se dejó la resolución espacial del píxel en 1 km. Luego los autores generaron un mosaico del AGB para el año 2000 considerando para cada píxel aquellos que tenían el menor nivel de incertidumbre en los modelos, para aquellos lugares en que estos se solapaban, Como producto, se obtuvo un mosaico de cobertura global de AGB 2000~ donde cada píxel corresponde a la mejor estimación disponible de todos los modelos existentes.
- B) Análisis de datos en *Google Earth Engine* (GEE; Gorelick et al. 2017) de las coberturas AGB: El próximo paso fue comparar en *Google Earth Engine*, los productos satelitales más usados para estimar AGB con el mosaico de AGB generado para el año 2000; entre estos se evaluaron: Fracción de radiación fotosintéticamente activa (FPAR)¹, campos de vegetación continua (VCF)²,

¹ Radiación fotosintéticamente activa (PAR) es el rango espectral de 400-700 nm que usan las plantas en la fotosíntesis. La fracción de PAR (FPAR) es un parámetro utilizado en la teledetección y en el modelado de ecosistemas que significa la porción de PAR utilizada por las plantas.

² Cuantifica el porcentaje de cobertura de copa en el paisaje, para facilitar la detección de la degradación o el enriquecimiento en el ecosistema tipo.

productividad primaria neta (NPP)³, índice de área de la hoja (LAI) ⁴e índice de vegetación mejorado (EVI)⁵, todos extraídos de sensores ópticos de MODIS Terra y Aqua a una resolución de 250 m. A partir de la comparación de 1,025,300 puntos distribuidos aleatoriamente en todo el mundo, se encontró una correlación estadística positiva y significativa entre VCF y el mosaico de AGB. (ver figura N°3). Lo anteriormente mencionado, se hizo con la finalidad de generar un modelo lineal robusto (RLM) en *GEE* usando los parámetros de VCF y AGB del año 2000, con el objetivo de predecir los valores de AGB anualmente para el resto del periodo de estudio a una resolución de 250 m para todo Chile continental.

Figura N°2. Esquema metodológico de la generación y análisis de datos.



Con los quince rasters anuales de AGB citados anteriormente, el procedimiento a seguir fue obtener los valores de stock de carbono para Chile continental. Para lograr una correcta conversión de AGB a stock de carbono (CS), se consideró el factor de materia seca específica según tipo de vegetación. (ver tabla N°2). Para la vegetación no homologable se utilizó un factor predeterminado de 0,5. (Ecuación N°1) (basado en Zarin *et al.* 2016).

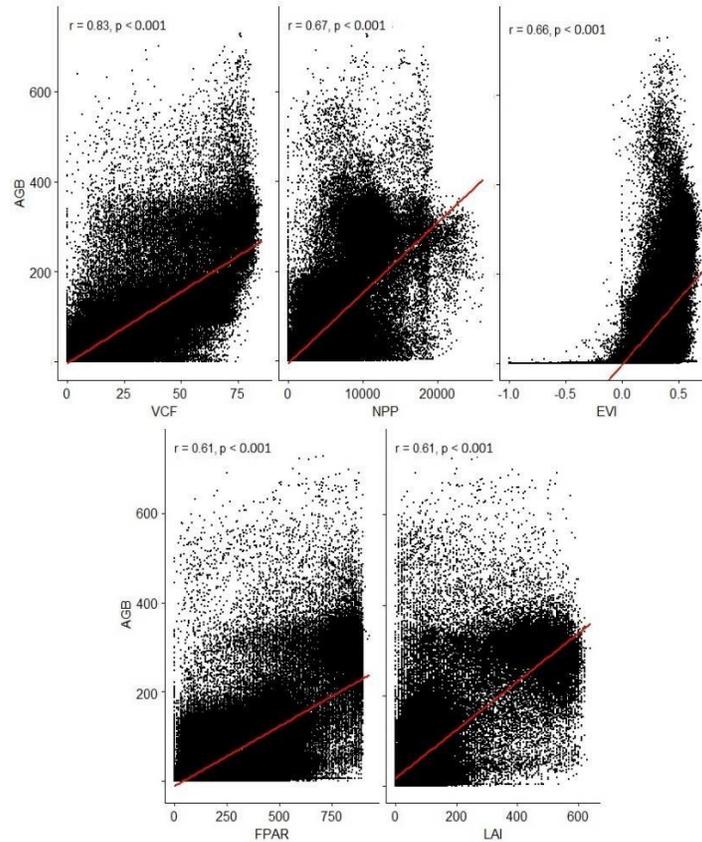
$$C = AGB * Factor\ materia\ seca\ (Default = 0.5) \text{ (Ec. 1)}$$

³ Captación anual neta de dióxido de carbono por la vegetación

⁴ Resultado de la división aritmética del área de las hojas de un cultivo expresado en m² y el área de suelo sobre el cual se encuentra establecido, también expresado en m². Es un indicador de biomasa y resistencia vegetal

⁵ El índice de vegetación mejorado, provee información que permite monitorear el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa.

Figura N°3 Correlación de la cobertura AGB con los productos satelitales: FPAR, VCF, NPP, LAI y EVI



Fuente: Alaniz y Carvajal (S/P)

Tabla N°2 Tablas con valores de materia seca según tipo/bioma de vegetación

Biome	Type	N (References)	N (Species)	Observed mean C fraction (%)	IPCC (2006) C fraction (%)	C _{vol} (%)
Tropical	angiosperm	7	134	47.1 ± 0.4	49	2.5 ± 0.3
Tropical	conifer	1	1	49.3	49	N.A.
Subtropical/ Mediterranean	angiosperm	3	18	48.1 ± 0.9	49	N.A.
Subtropical/ Mediterranean	conifer	3	10	50.54 ± 2.8	49	N.A.
Temperate/Boreal	angiosperm	10	54	48.8 ± 0.6	48 ± 2	1.3 ± 0.6
Temperate/Boreal	conifer	13	36	50.8 ± 0.6	51 ± 4	2.1 ± 1.4
All biomes	angiosperm	N.A.	206	47.7 ± 0.3	N.A.	2.3 ± 0.3
All biomes	conifer	N.A.	47	50.8 ± 0.8	N.A.	2.1 ± 1.4
Complete dataset	N.A.	31	253	48.3 ± 0.3	47	2.3 ± 0.3

Fuente: Thomas (2012)

5.2. Estimación de la dinámica del carbono en la vegetación natural de Chile continental de forma espacialmente explícita (Obj. Esp. 1)

Para evaluar la dinámica del carbono de la vegetación se estimó el balance o variación anual a nivel de pixel usando la ecuación N°2

$$\text{Balance Anual} = CS_f - CS_i \text{ (Ec. 2)}$$

donde CS_f corresponde al año final elegido, y CS_i al año inicial. Esto permite analizar a nivel de pixel si se perdió o ganó carbono durante un año.

Por otro lado, se evaluó el balance neto durante el periodo completo de estudio, el cual permite evaluar si el pixel se comportó como un sumidero (Balance < 0) o una fuente de carbono (Balance > 0), o como carbono neutral (Balance ~ 0) (Mitchard 2017; Baccini et al. 2017). El calculo se presenta en la ecuación N°3.

$$\sum_{\text{Balance anual 2000}}^{\text{Balance anual 2015}} = \text{Balance neto (Ec.3)}$$

Como los productos de AGB generados por Alaniz y Carvajal (N/F), identifican carbono en cualquier tipo de vegetación fue necesaria la calibración de los productos. El objetivo de esto es asegurar que todos los cálculos de stock y dinámica de carbono correspondan a ecosistemas naturales. Para esto se realizó una extracción de las coberturas antrópicas, mediante la utilización del Catastro de bosque nativo del año 2013, considerando como coberturas antrópicas, a las plantaciones de pino y eucaliptus, las coberturas agrícolas y urbanas, así como algunos tipos de praderas. Con ello se generó un mapa de coberturas naturales el cual luego cortó cada uno de las coberturas generadas en los pasos anteriores. Se plantea por lo tanto que evaluaron en la presente tesis aquellas coberturas que permanecieron naturales hasta el año 2013.

Finalmente se generaron una serie de mapas continuos a nivel nacional los cuales fueron analizados en términos de la latitud, región y/o zona, analizada en valores de megagramos por píxel (figura N°6).

5.3. Análisis de las tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental según formación vegetacional y ecosistema. (Obj. Esp. 2)

5.3.1 Formaciones de vegetación

La unidad más grande utilizada para evaluar el carbono fueron las formaciones vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2006), las cuales corresponden a unidades abstractas que representan el conjunto de comunidades vegetales con una fisionomía similar.

En la tabla N°2 se describen las formaciones que encontraremos en el área de estudio de esta investigación y que pisos vegetacionales se espera encontrar en el interior de cada una de ellas.

Tabla N°3 Formaciones y sus ecosistemas más importantes según km²

Formación	Descripción
Bosque caducifolio	Esta formación se entenderá como un grupo vegetal que comparte la cualidad de ser plantas leñosas que pierden el follaje durante la estación desfavorable. Dentro de los grupos con mayor extensión en km ² , según Luebert & Pliscoff (2006), son: Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Laurelia sempervirens</i> junto a bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Berberis ilicifolia</i> .
Bosque esclerófilo	Grupo arbóreo con la cualidad de poseer hojas perennes duras, dentro de esta formación los pisos que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Azara integrifolia</i> , junto a Bosque esclerófilo mediterráneo interior de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Peumus boldus</i> .
Bosque espinoso	Esta formación tiene la cualidad de tener una hoja en forma espinosa y dura. Las formaciones que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Bosque espinoso mediterráneo interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Prosopis chilensis</i> ; junto a bosque espinoso mediterráneo interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Lithrea caustica</i> .
Bosque laurifolio	Son grupos vegetales con la característica de poseer hojas perennes, planas y de limbo amplio. Las formaciones con mayor extensión en Km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Bosque laurifolio templado costero de <i>Weinmannia trichosperma</i> y <i>Laureliopsis philippiana</i> ; junto a Bosque laurifolio templado interior de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Encryphia cordifolia</i>
Bosque siempreverde	Esta formación de árboles tiene como característica principal el de poseer hojas duras durante todo el año. Dentro de esta formación vegetal, los que tienen mayor extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Bosque siempre verde templado interior de <i>Nothofagus nitida</i> y <i>Podocarpus nubigena</i> , junto a bosque siempreverde templado interior de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Desfontainia spinosa</i> .
Bosque resinoso	Corresponde a una formación vegetal que secretan resinas, encontrándose de este grupo principalmente coníferas, dentro de esta formación los pisos que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Bosque resinoso andino de <i>Fitzroya cupressoides</i> junto al bosque resinoso templado costero de <i>Pilgerodendrom uviferum</i> y <i>Astelia pumila</i> .
Desierto absoluto	Corresponden a extensiones prácticamente desprovistos de plantas vasculares, frente a esto no existe tanta información con respecto los grupos vegetales presentes en la zona. Las formaciones con mayor extensión en Km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Desierto tropical costero con vegetación escasa y Desierto tropical interior con vegetación escasa.
Estepas y pastizales	Son grupos vegetales que tienen como aspecto el ser gramíneas y pueden o no tener arbustos bajos. Dentro de esta formación los pisos que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Estepa templada oriental de <i>Festuca gracillima</i> y <i>Emperetrum rubrum</i> , junto a Estepa templada oriental de <i>Festuca gracillima</i> y <i>Chilotrimum diffusum</i> .
Herbazal de altitud	Corresponden a grupos vegetales que se presentan en desierto de altura muy abierto, donde solo se encuentran algunas plantas herbáceas. Los pisos que se presentan en mayor extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Herbazal mediterráneo andino de <i>Nastanthus spathulatus</i> y <i>Menonvillea spathulata</i> , junto a Herbazal templado andino de <i>Nassauvia dentata</i> y <i>Senecio portalesianus</i> .
Matorral arborescente	Grupo de arbustos con la cualidad de poseer hojas perennes duras, dentro de esta formación, los pisos vegetacionales que dominan según Luebert & Pliscoff (2006) son: Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo costero de <i>Peumus boldus</i> y <i>Schinus latifolius</i> , junto a matorral arborescente esclerófilo mediterráneo interior de <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Porlieria chilensis</i> .
Matorral bajo desértico	Esta formación vegetal se presenta de forma muy abierta, de tipo xeromórfico en general, con presencia de suculentas. Dentro de sus pisos, los más grandes en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Matorral bajo desértico tropical interior de <i>Adesmia atacamensis</i> y <i>Cisthante salsoloides</i> , junto a matorral bajo desértico tropical andino de

	<i>Atriplex imbricata</i> y <i>Acantholippia deserticola</i> .
Matorral bajo de altitud	Esta formación en específico, se caracteriza por presentar grupos arbustivos en zonas bajas de altitud, presentando plantas gramíneas o pulvinadas, entre otros. Dentro de esta formación los pisos que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Matorral bajo tropical andino de <i>Mulinum crassifolium</i> y <i>Urbania pappigera</i> ; junto a: Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix</i> y <i>Ephedra breana</i> .
Matorral caducifolio	Formaciones de matorrales que presentan la cualidad de presentar hoja caduca, dentro de esta formación los pisos que tienen mayor extensión en km ² , según Luebert & Pliscoff (2006) son: Matorral caducifolio templado andino de <i>Nothofagus antarctica</i> , junto a matorral templado andino de <i>Nothofagus antarctica</i> y <i>Empertrum rubrum</i> .
Matorral desértico	Esta formación se entenderá como un grupo vegetal que comparte cualidades xeromórficas y también de suculentas, dentro de ella, los pisos con mayor extensión según Luebert & Pliscoff (2006) corresponden a: Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> y <i>Atriplex deserticola</i> , junto a matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea</i> y <i>Bulnesia chilensis</i> .
Matorral espinoso	Grupos de arbustos con hoja en forma de espinas. Dentro de esta formación los pisos que tienen más extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Matorral espinoso mediterráneo interior de <i>Trevoa quinquenervia</i> y <i>Colliguaja odorifera</i> , junto a Matorral espinoso mediterráneo interior de <i>Puya coerulea</i> y <i>Colliguaja odorifera</i> .
Matorral siempreverde	Formaciones de arbustos que tienen como característica el de poseer hojas duras durante todo el año. El piso vegetacional presente en esta formación según Luebert & Pliscoff (2006) es: Matorral siempreverde templado costero de <i>Pilgerodendron uviferum</i> y <i>Nothofagus nitida</i> .
Turbera	Corresponden a complejos de comunidades que están situadas sobre sustratos de mal drenaje, de composición y fisionomía variable. Dentro de los grupos con mayor extensión en km ² según Luebert & Pliscoff (2006) son: Turbera templada costera de <i>Donatia fascicularis</i> y <i>Oreobolus obtusangulus</i> , junto a Turbera anti boreal costera de <i>Astelia pumila</i> y <i>Donatia fascicularis</i> .

Fuente: Luebert & Pliscoff (2006)

5.3.2. Ecosistema

Para el caso de los ecosistemas, se utilizó como *proxy* a la clasificación de pisos de vegetación de Luebert & Pliscoff (2006), la cual ha sido utilizada en estudios previos de la misma forma (Alaniz et al. 2016). Esto se fundamenta en que este tipo de análisis basados en ecosistemas debieran utilizar clasificación que describan las características principales del sistema en cuanto a sus características e interacciones ecológicas. Estas para el caso de ecosistemas terrestres incluyen la fisionomía de la vegetación y las especies dominantes, en relación a lo que respecta a la biocenosis, mientras que para el caso del componente abiótico muestran una influencia bioclimática del ecosistema (Keith et al. 2013; Alaniz et al. 2016; 2019)

Luebert & Pliscoff (2006) definen **piso vegetacional** como aquellos espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniforme, situadas bajo condiciones mesoclimáticamente homogéneas, que ocupan una posición determinada a lo largo de un gradiente de elevación, a una escala espacio-temporal específica. Junto a ello, los mismos autores señalan que un piso de vegetación se caracteriza típicamente por una formación vegetal con especies dominantes específicas y un piso bioclimático bajo el cual tales formaciones pueden ser encontradas. En este punto hay dos cosas que señalar, i) una formación vegetal con especies dominantes específicas se distribuye en más de un piso bioclimático y ii) dentro de un piso bioclimático es posible identificar más

de una formación vegetal con especies dominantes específicas.

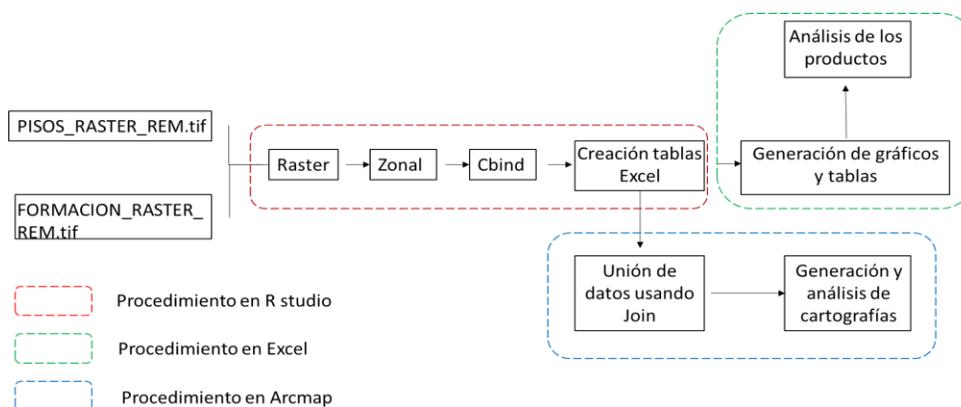
Para llevar el análisis de dinámica y stock de carbono a los ecosistemas locales, se trabajó con coberturas según ecosistema y formación vegetal, obtenidos a través de la página del IDE.

5.3.3. Dinámica según unidad de análisis (formación y piso)

A continuación, el tratamiento de los datos de las coberturas de **Formaciones Vegetacionales y Ecosistemas** y de, se dividió en tres fases (figura N°4).

- Ambiente R: Haciendo uso de R Studio, se utilizó la biblioteca “raster”, para aplicar la función “zonal”, generando una sumatoria de los valores del píxel, en este caso según formación y piso vegetal, obteniendo A) el stock total y B) balance neto de carbono. Luego, se hizo uso de la función Cbind, para generar una tabla combinada de los valores de stock de Carbono, según formación y ecosistema.
- Vinculo de la tabla con el mapa: luego se utilizó la herramienta “Join” en ArcMap, para unir la tabla generada con los valores obtenidos con el mapa.
- Generación de cartografías: Finalmente se elaboraron distintas cartografías para mostrar el comportamiento espacial de los valores de Balance anual y balance neto de Carbono al interior de los ecosistemas y formaciones vegetacionales

Figura N°4 Procedimientos ocupados en los archivos de Formación y Piso vegetal



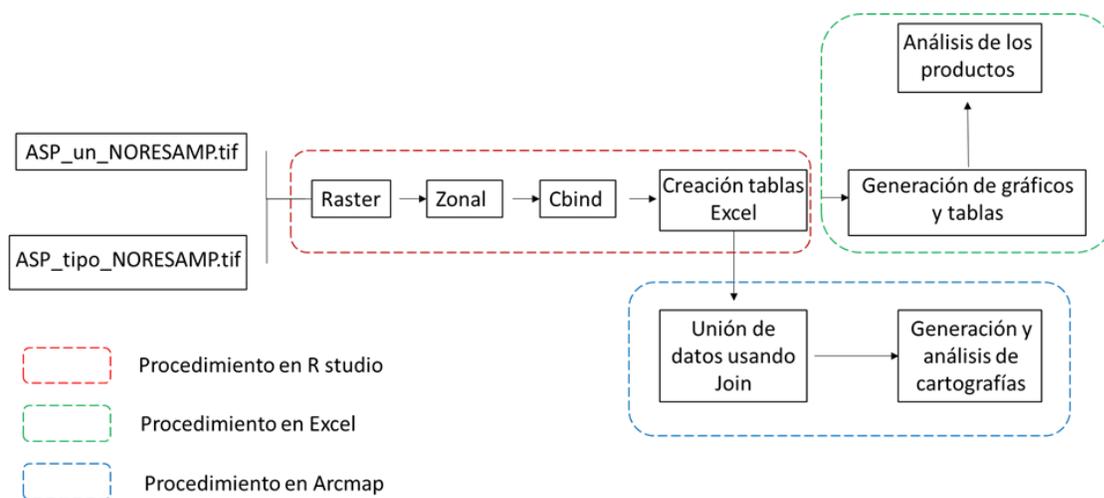
5.3. Análisis de las tendencias y dinámicas de la vegetación de Chile continental según tipo y unidad de Área Silvestre Protegida (Obj. Esp. 3)

Para analizar los valores de Carbono al interior de las ASP se realizaron procesos en distintos ambientes de trabajo, pasando por R, Excel y ArcMap. Las ASP fueron

trabajadas según tipo: Reserva Nacional, Parque Nacional, Monumento Natural y Área Silvestre Protegida.

Los pasos metodológicos seguidos para obtener el stock de carbono por ASP son los mismos que se detallan en punto anterior, referidos al análisis de las tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental según formación vegetacional y ecosistema, solo cambian los archivos utilizados, razón por la cual no se repetirá la explicación, pero se deja adjunta la figura N°5, la cual da cuenta de los procesos realizados.

Figura N°5 Procedimientos ocupados en los archivos de ASP por unidad y tipo.



6. Resultados

6.1. *Dinámica del carbono en la vegetación natural de Chile continental*

En la zona norte del país, la vegetación cercana a la costa y ciudades principales tienden a ser carbonos neutrales, con valores de -1 a 1 Mg C. Por otro lado, la vegetación costera alejada de ciudades presenta tendencias de sumidero de carbono, coincidiendo principalmente con matorral desértico tropical costero (Figura 6A). Se aprecia además que, entre los 19°S y los 70°W, se aprecia mayor preponderancia de emisión de carbono, siendo esta zona la que más emite en el sector.

Se observa una extensa zona con predominancia de emisión de carbono, la cual abarca desde los 21°S a los 23°S y entre los 69°W- 68°W, siendo esta principalmente vegetación de tipo Matorral tropical bajo andino.

Se identifica un aumento en porcentaje del área con cobertura vegetal, aspecto a diferencia de la zona anterior (Figura 6B). Entre los 25°S-26°S 71°W-70°W se encuentra un área con evidencias de un deterioro para el periodo de estudio. En la misma zona de referencia, respecto a la vegetación costera, se puede señalar que, mientras más se avanza al sur, más deteriorado se encuentra su estado, corroborando con la figura N°6B que la vegetación dominante del área mencionada corresponde a Matorral desértico mediterráneo costero. Por su parte, la vegetación andina corresponde mayormente a matorral bajo tropical-mediterráneo andino, y en ella el comportamiento es intermitente, ya que existen áreas que presentan signos de sumideros como de emisores de CO₂.

A la altura de la ciudad de Coquimbo, en la vegetación existe evidencia de una tendencia hacia la emisión, esto se puede señalar en la zona central de dicha zona y en la costa, pero esto varía en la vegetación cordillerana, donde se aprecian sumideros (Figura 6B).

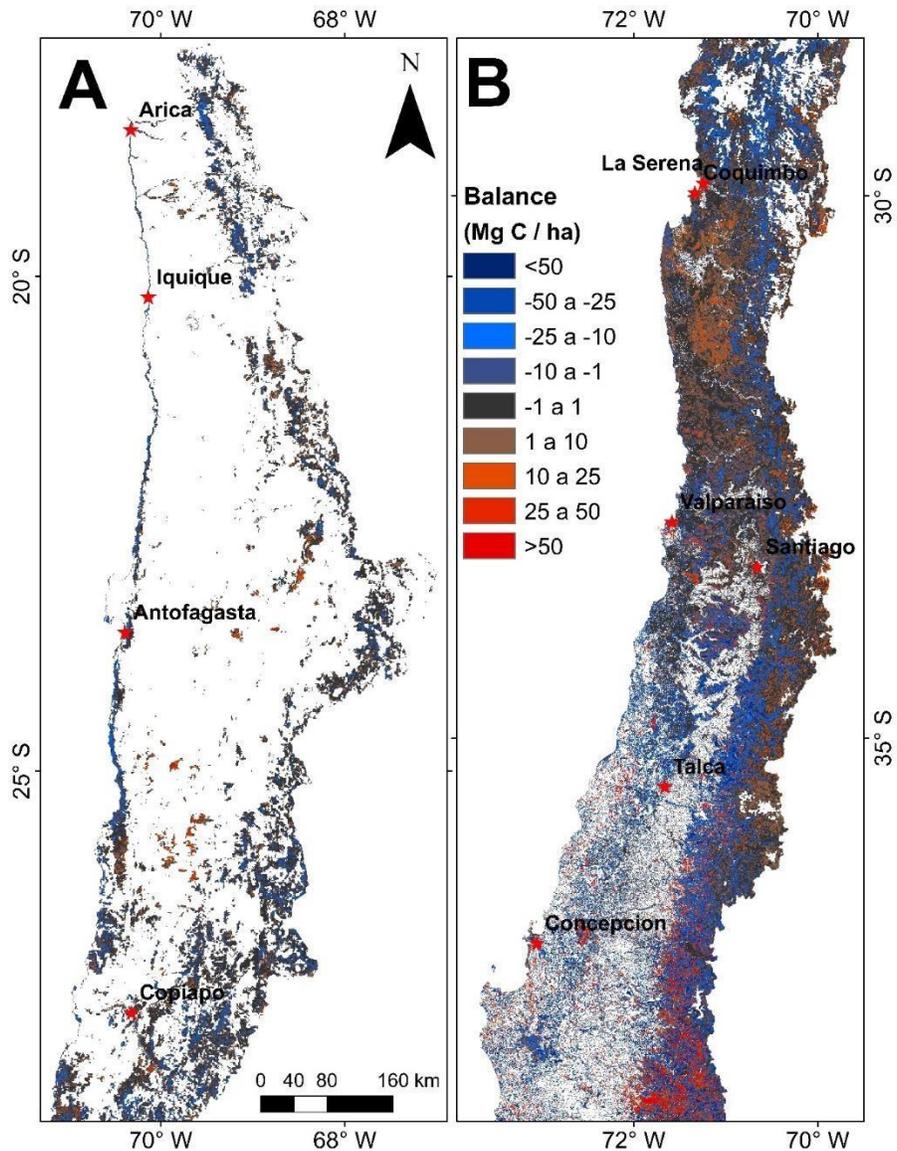
En la zona que abarca desde los 31°S al 33°S ha habido una degradación notoria de la vegetación. Además de ello, hay que mencionar que la vegetación que se ha visto deteriorada en dicha zona corresponde a matorral espinoso mediterráneo y matorral arborescente de esclerófilo-mediterráneo.

En los alrededores de Valparaíso, también es notoria la tendencia hacia la emisión de carbono, aunque esto no aplica en la mayoría de dicha área, si se puede referir en ciertos lugares de dicha zona, lo anterior también se puede extrapolar a la ciudad de Santiago.

Cercano a la ciudad de Concepción, cerca de los 37°S y 73°W tenemos zonas que se han comportado como sumideros de CO₂, como también áreas que, durante el periodo de estudio, tuvieron características de emisor, dichas localizaciones presentan una vegetación variada, encontrando pisos vegetacionales como, por ejemplo: Bosque caducifolio mediterráneo-templado costero, bosque caducifolio

mediterráneo interior y bosque esclerófilo mediterráneo costero (Figura 6B)

Figura N°6 Dinámica de Carbono entre los paralelos 18°S y 38°S



Cercano a los 39° tenemos zonas que han tenido comportamiento de emisión, como también de sumideros, de esto se puede decir que la cordillera dentro de esta zona está siendo degradada de forma notoria, como se puede observar en la figura N°7A, además mencionar que dicha área posee el piso vegetacional Bosque Resinoso templado andino de *Araucaria araucana* (Figura 7A).

En los 40°S y 73°W tenemos a la ciudad de Valdivia, donde se aprecia que su vegetación ha emitido durante el periodo de estudio, ya que el área que se encuentra en un estado de deterioro que abarca desde toda su zona costera, hasta

la sección norte de la isla grande de Chiloé que se puede observar en la Figura 7A. Dentro de dicha extensión, se pueden encontrar los siguientes pisos vegetacionales: Bosque laurifolio templado interior, Bosque laurifolio templado costero. Junto a lo anterior, también en dicho sector se puede observar extensiones que tuvieron un buen comportamiento, dicha zona está ubicada entre los paralelos 40°S-41°S y meridianos 73°W y posee dentro de su área al piso vegetacional de Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*.

Hablando de los alrededores de la ciudad de Puerto Montt (41°S y 73°W), tenemos que, hacia el oeste de dicha ciudad, el comportamiento de la vegetación durante el periodo de estudio fue de sumidero de carbono, aspecto que contrasta con el hecho de que, en el este de dicha localidad, existe un deterioro notorio de dicho sector. Un elemento que vale la pena destacar, es sobre la existencia de parques y reservas dentro de dicho lugar, tomando como por ejemplo al Parque Nacional Alerce Andino o la Reserva Nacional Llanquihue (Figura 7A).

Al observar la figura N°7A, tenemos como primer punto para mencionar la degradación presente en la isla grande de Chiloé, específicamente en su zona sur, donde la presencia del piso vegetacional de bosque resinoso templado costero de *Pilgerodendron uvifera* y *Tepualia stipularis* es mayoritaria.

Frente a la isla grande de Chiloé, por el lado continental, tenemos zonas que han tenido características de emisores de CO₂, durante el periodo de estudio, dichas áreas abarcan pisos vegetacionales como el bosque siempre verde templado interior de distintas especies de *Nothofagus* o el bosque caducifolio templado andino (Figura 7A).

Cerca de la ciudad de Coyhaique (46°S y 72°W), tenemos hacia el sur de ella zonas degradadas, posiblemente por la acción antrópica, y dicha área contiene a pisos vegetacionales como, por ejemplo, al bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Berberis ilicifolia*.

Aproximadamente, desde los 47°S, los ecosistemas se encuentran en un mejor estado que los que tienen hacia el norte, presentándose a lo largo del periodo de estudio en un mejor estado de conservación, encontrando dentro de los pisos vegetacionales en buen estado a: Turbera templada costera de *Donatia fascicularis*, Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus betuloides* (Figura 7A).

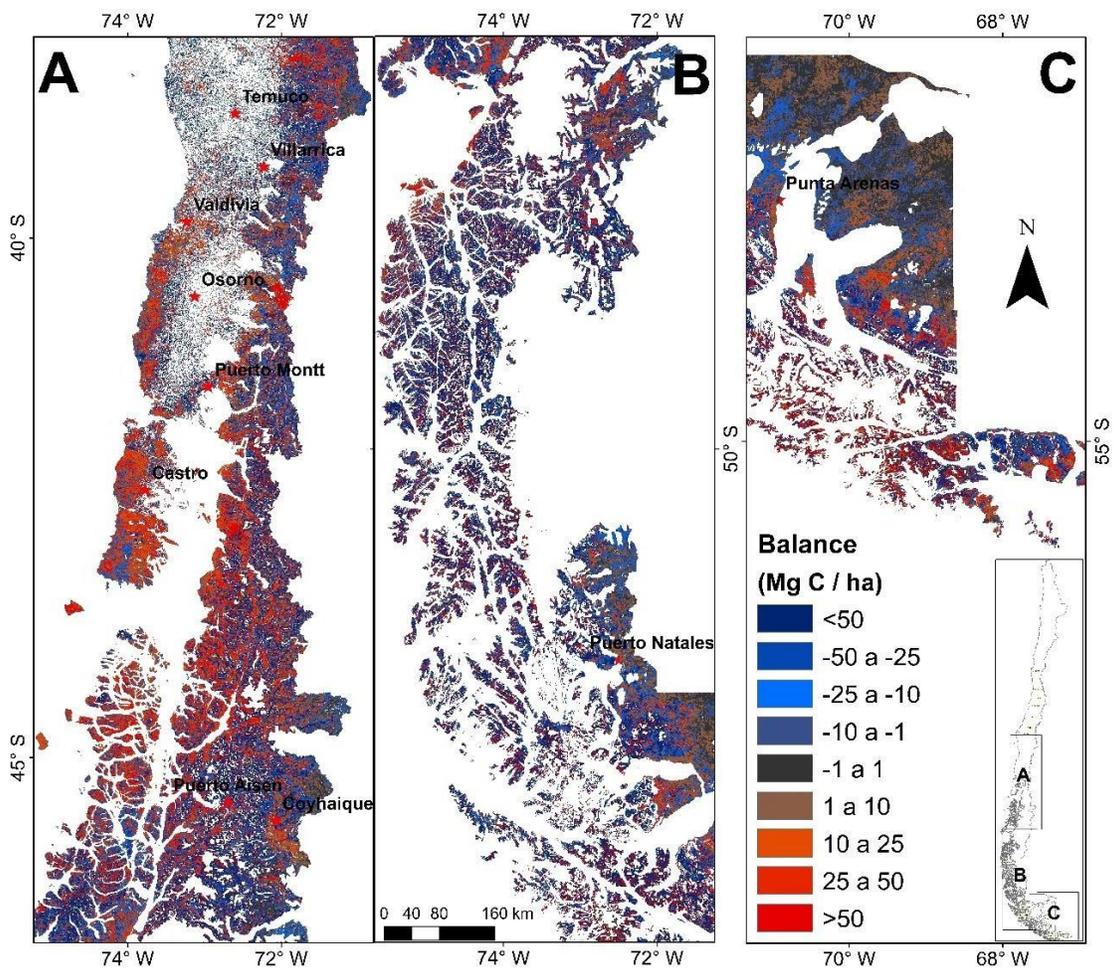
En la figura 7C, y tomando como punto de referencia la ciudad de Punta Arenas (53°S y 71°W) se tiene hacia el este y sureste zonas que han estado con claros signos de emisión de carbono a lo largo del periodo de estudio, teniendo como pisos vegetacionales dominantes: Matorral arborescente caducifolio templado-antiboreal, Estepa templada oriental, y hacia el sureste: Turberas antiboreal costera, matorral bajo templado antiboreal andino y turbera antiboreal costera.

Como detalle tenemos que, hacia el oeste de la ciudad de Punta Arenas, específicamente en 74°W tenemos zonas de comportamiento de sumidero de CO₂,

teniendo dentro de sus pisos vegetacionales, principalmente al grupo de las turberas, tomando dentro de su espectro de especies a: *Bolax bovei*, *Sphagnum magellanicum* y *Schoenus antarcticus* (Figura 7C).

En los 55°S y 70° se puede ver como existe una extensa zona que se ha comportado como emisor de carbono, dicha área corresponde principalmente a la formación de turberas (Figura 7C)

Figura N°7 Dinámica de Carbono entre los paralelos 38°S y 55°S



6.2. Tendencias y dinámicas del carbono de la vegetación de Chile continental según ecosistema y formación vegetacional

6.2.1. Tendencias y dinámicas del carbono según formación vegetacional para Chile continental

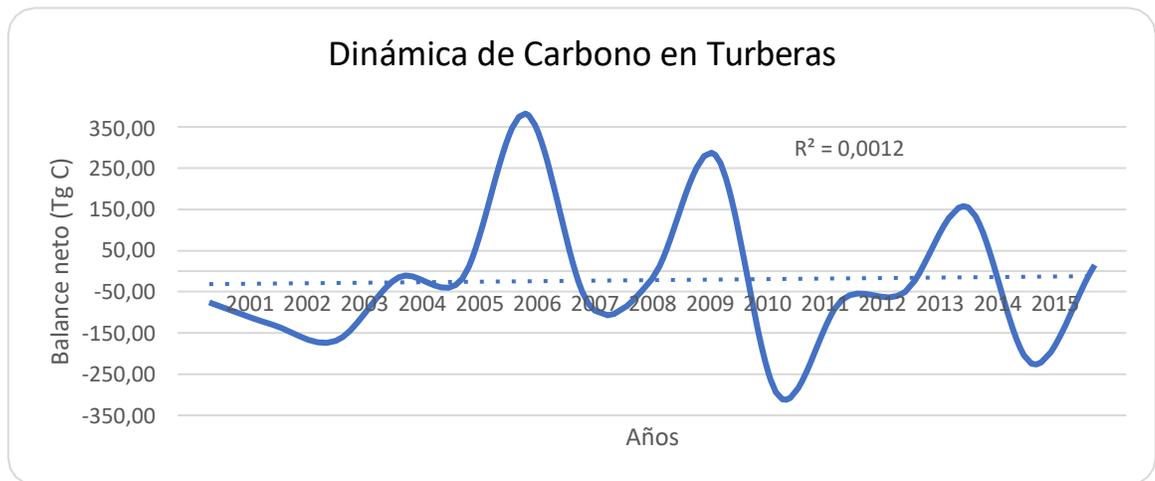
En este punto es necesario el poder clasificar al momento de evaluar en este apartado, por ello se dividió este segmento entre las formaciones que actuaron como sumideros y emisores de carbono:

- a) Formaciones que actuaron como sumideros de CO₂:** En las diecisiete formaciones vegetacionales en el país, existen claras diferencias entre ellas, hablando desde el punto de vista de cantidad vegetacional como de emisiones.

En este punto es necesario mencionar el caso de las turberas, ya que corresponden a una de las formaciones con mayor stock de carbono, de ello se puede mencionar que dicha formación tuvo en su dinámica de carbono un claro comportamiento de sumidero de carbono, presentando valores en su balance neto de carácter negativo, esto se comprueba de una manera más explícita si se observan los valores de balance de esta formación en el anexo N°2 donde se arroja un valor de -326 Tg C.

Si unimos en este análisis, la figura N°8, podemos ver el comportamiento que tuvo dicha formación a lo largo del periodo de estudio, mostrando valores que lo sitúan como una formación que se comportó como sumidero de carbono. Es importante señalar además como en entre los periodos de años: 2005-2006, 2008-2009, 2012-2013 existió un aumento en sus valores de balance neto, lo que en términos prácticos significo una perdida en stock de carbono. Por otro lado, se tiene que entre los años 2006-2007, 2009-2010 y 2013-2014 hubo una reducción en los niveles de balance neto, significando un aumento en sus valores de stock de carbono.

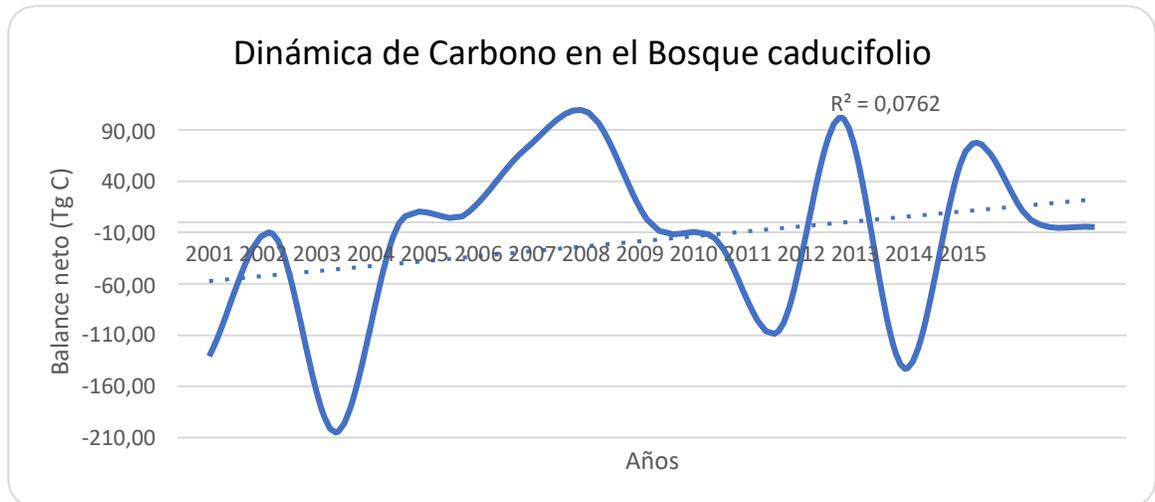
Figura N°8 Dinámica de carbono para las Turberas



Otra formación que tuvo un comportamiento positivo dentro del periodo de estudio corresponde al bosque Caducifolio, en términos claros esta formación tuvo un balance neto de carbono de -262 Tg C, lo que lo posiciona como el segundo gran sumidero de carbono a nivel nacional después de las turberas, todos estos datos se pueden ver de manera detallada en el anexo N°2

Dentro de esta formación, es importante señalar que durante los años 2003-2004, 2005-2006, 2010-2011 y 2012-2013 hubo un déficit en el stock de carbono, significando de manera directa el aumento del balance neto mostrado en el gráfico. Junto a lo anterior, durante los años 2002-2003, 2007-2008, 2011-2012 y 2013-2014 hubo una baja en los niveles de balance neto, es decir, que el stock de carbono de dicha formación tuvo un aumento, explicando dichas variaciones, es válido mencionar además que la línea de tendencia de esta formación va al aumento, tendiendo poco a poco hacia la emisión de carbono. (Figura N°9)

Figura N°9 Dinámica de carbono para la formación de Bosque Caducifolio

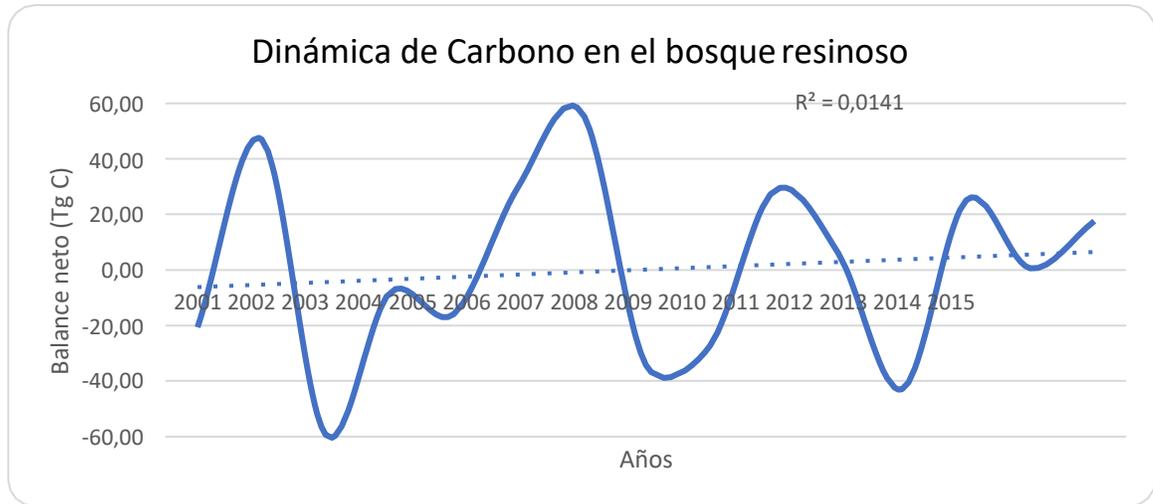


b) Formaciones que actuaron como emisores de CO₂: Dentro de este punto, es válido mencionar que, a nivel de formaciones, son pocas aquellas que tuvieron un déficit en su dinámica de carbono. Dentro de esta categoría encontramos rápidamente a la formación de bosque Resinoso, como un claro emisor.

Esta formación si se aprecian los valores de dinámica de carbono en el anexo N°2, se puede ver cómo fueron bajando paulatinamente, conforme con el paso de los años, junto a ello su balance anual y neto arrojan valores positivos, lo que lo señala como un potencial emisor de CO₂ durante el periodo de estudio, específicamente teniendo un valor de balance neto de 3,15 Tg C.

Si observamos la figura N°10, podemos señalar que las variaciones interanuales de esta formación son bastante amplias, por un lado, se tienen periodos donde hubo una tendencia positiva, como por ejemplo en los periodos 2001-2002, 2005-2007, 2008-2010 y 2012-2013, en dichos años el stock de carbono en el Bosque Resinoso tuvo pérdidas, explicando el aumento en el balance neto. Por otro lado, se tienen los periodos de 2002-2003, 2007-2008, 2010-2012 y 2013-2014 donde existió un aumento de stock de carbono en esta formación, esto explica la variabilidad dentro del gráfico. Junto a lo mencionado antes, la línea de tendencia de esta formación muestra que está tendiendo a ser un emisor de C.

Figura N°10 Dinámica de carbono para la formación de Bosque Resinoso



6.2.2. Tendencias y dinámicas del carbono según ecosistema para Chile continental:

Hablando respecto a los pisos vegetacionales en la zona norte, se tiene un par de hechos bastante llamativos, por un lado, tenemos que entre los 18°S y 28°S hay un gran porcentaje de territorio que se encuentra en la categoría de Carbono neutral y con preponderancia hacia la emisión de carbono; respectivamente se tiene al Desierto Tropical Interior con Vegetación Escasa con valores levemente positivos, lo que nos habla acerca de su tendencia de emisión. Por otra vía, encontramos los pisos vegetacionales que se comportaron como carbonos neutrales, los cuales corresponden a: Bosque espinoso tropical interior de *Geoffroea decorticans* - *Prosopis alba*, Bosque espinoso tropical andino de *Browningia candelaris* - *Corryocactus brevistylus*, Herbazal efímero tropical costero de *Nolana adansonii* - *N. lycioides* y entre otros. Poco más al sur de la ciudad de Antofagasta, se visualiza un área con preponderancia hacia la emisión de carbono, con un valor de balance neto de 1 Tg C; específicamente corresponde a Matorral bajo desértico tropical interior de *Nolana leptophylla* - *Cistanthe salsoloides*. Junto a lo mencionado antes, se tiene que, en las zonas cordilleranas al nivel de las ciudades de Arica, Iquique, Antofagasta y Copiapo encontramos vegetación con comportamiento de sumidero de carbono, encontrando principalmente: Matorral bajo tropical andino de *Fabiana ramulosa* y *Diplostephium meyenii*, Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lepidophylla* y *P. quadrangularis*, Matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*. (Figura N°11 A)

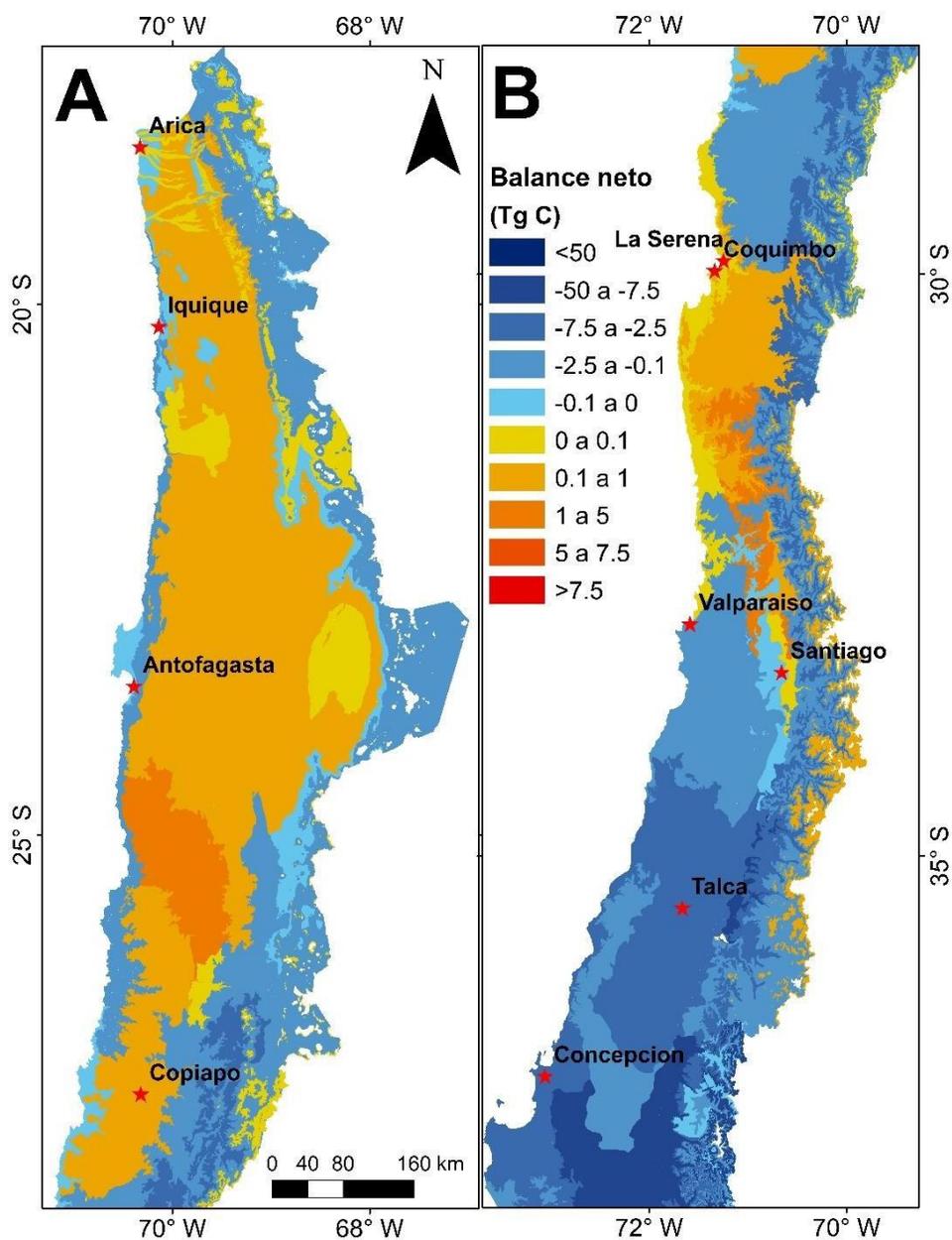
Otro elemento que vale la pena mencionar, es como la vegetación que está en las

cercanías de las ciudades de La Serena y Coquimbo, tiene comportamiento claro de Carbono Neutral, encontrando los pisos de Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum*. Es interesante además como al norte de dichas localidades se pueden ver pisos vegetacionales con comportamiento leve de sumidero de carbono, correspondiendo principalmente al Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argentea* y *Bulnesia chilensis*, con un balance neto de -2,17 Tg C. (Figura N°11 B)

En las cercanías de la ciudad de Valparaíso, se tiene una situación bastante interesante, ya que se encuentra en dicho lugar un piso vegetacional de gran extensión con características de sumidero de carbono, correspondiendo principalmente a: Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithrea caustica* y *Cryptocarya alba*, Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*. Junto a ello en los 33°S y 71°W, de referencia en las cercanías de Santiago, se tiene al piso de Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo interior *Quillaja saponaria* y *Porlieria chilensis* como un emisor de carbono con un valor de balance neto de 1,47 Tg C. En la zona cordillerana del área mencionada antes, se tiene al piso vegetacional de Herbazal mediterráneo de *Nastanthus spathulatus* y *Menonvillea spathulata* como un leve emisor de carbono. (Figura N°11 B)

Respecto a la ciudad de Talca, se encuentra en una posición donde se encuentran pisos que tuvieron tendencia hacia ser sumideros de carbono, y correspondiendo también a áreas de gran extensión, encontrando al Bosque esclerófilo mediterráneo interior de *Lithrea caustica* y *Peumus boldus* con un balance neto de -4.3 Tg C; y al Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Lithrea caustica* con un valor similar al mencionado antes. Junto a ello, en el área cordillerana, tenemos al piso vegetacional de Herbazal mediterráneo andino de *O. adenophylla* y *Pozoa coriácea* como un leve emisor de carbono con un valor de 0,2 Tg C. (Figura N°11 B)

Figura N°11 Dinámica de Carbono entre los paralelos 18°S y 38°S según Piso Vegetacional



En la cercanía de la ciudad de Temuco, se encuentra una extensa zona con claro comportamiento de sumidero de carbono, encontrando principalmente al Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Persea lingue*, Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*, Bosque caducifolio

templado andino de *Nothofagus alpina* y *Dasyphyllum diacanthoides*; todos con valores menores a -10 Tg C. Es menester mencionar que, en sector cordillerano de Temuco, se tiene una gran extensión con preponderancia hacia la emisión, correspondiendo a: Bosque resinoso templado andino de *Araucaria araucana* y *Festuca scabriuscula*. (Figura 12 A)

Al sur de la ciudad de Valdivia, se puede ver una zona no menor de tamaño que tiene tendencia hacia la emisión de carbono, siendo del piso vegetacional Bosque laurifolio templado costero de *Weinmannia trichosperma* y *Laureliopsis philippiana*, el cual tiene un Balance neto de 2,2 Tg C. (Figura 12 A)

En plena ubicación de la ciudad de Puerto Montt, tenemos una extensa zona claramente emisora de carbono durante el periodo de estudio, la cual corresponde principalmente a Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nitida* y *Podocarpus nubigena* con un valor de balance neto de 9 Tg C. (Figura 12 A)

En la Isla Grande de Chiloé, la situación es preocupante ya que los pisos vegetacionales dominantes dentro suyo, están con clara preponderancia hacia la emisión de carbono, ya sea hablando del Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nitida* y *Podocarpus nubigena* (9,4 Tg C), Bosque laurifolio templado costero de *Weinmannia trichosperma* y *Laureliopsis philippiana* (2.2 Tg C) y el Bosque resinoso templado costero de *Fitzroya cupressoides* (1.9 Tg C). Similar a lo anterior, frente a Chiloé, por el lado continental se encuentra un área con tendencia hacia la emisión de carbono, hablando específicamente del Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nitida* y *Podocarpus nubigena*. (Figura 12 A)

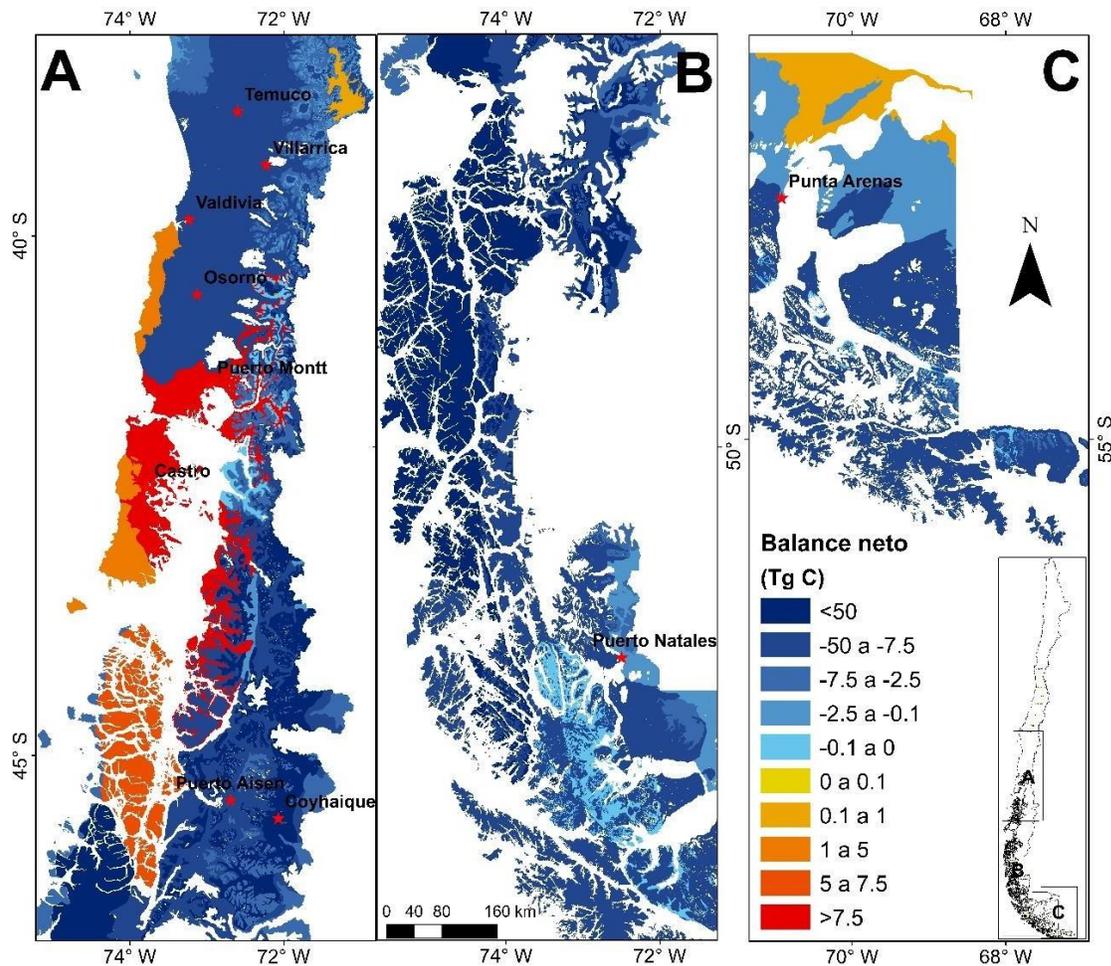
En el lado occidental de Puerto Aysén, específicamente en los 74°W, se puede ver una zona con tendencia de emisor de carbono, correspondiendo al piso vegetacional de Bosque resinoso templado costero de *Pilgerodendron uvifera* y *Astelia pumila*. En esta misma área, se puede ver como en los alrededores de la ciudad de Coyhaique, la vegetación se encuentra en buen estado, con claros signos de ser sumidero de carbono, encontrando principalmente al Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* y *Berberis ilicifolia*, presentando un valor de balance neto de -68 Tg C. (Figura 12 A)

Hablando respecto a la ciudad de Puerto Natales, encontramos en sus cercanías vegetación en buen estado, por un lado, hablando del piso Estepa templada oriental de *Festuca gracillima* y *Chiliotrichum diffusum*, la cual tiene un balance neto de -2 Tg C, lo que lo posiciona como un sumidero de carbono dentro del área de estudio. Otro piso vegetacional que está en buen estado corresponde al Matorral arborescente caducifolio templado-antiboreal andino de *Nothofagus antarctica* y *Chiliot*, el cual tiene un valor de -10 Tg C. (Figura 12 B)

En la zona norte de Punta arenas, tenemos una extensión que posee signos de ser un emisor leve en el área de estudio, correspondiendo a la Estepa mediterránea-templada oriental de *Festuca gracillima*, con un valor de 0,13 Tg C. Junto a lo

anteriormente mencionado, tenemos al piso vegetal de Matorral arborescente caducifolio templado-antiboreal andino de *Nothofagus antarctica* y *Chiliot*, Bosque mixto templado-antiboreal andino de *Nothofagus betuloides* y *Nothofagus pumilio* ambos con tendencia hacia ser sumideros de carbono. Es importante señalar el rol de las turberas en esta zona, ya que son las que tienen menores niveles de balance neto, aspecto que los posiciona como los sumideros de carbono en esta zona específica, encontrando principalmente a Turbera antiboreal costera de *Astelia pumila* y *Donatia fascicularis* con un valor de -28 Tg C, Turbera antiboreal costera de *Bolax bovei* y *Phyllachne uliginosa* con un valor de -32 Tg C y Turbera templada-antiboreal interior de *Sphagnum magellanicum* y *Schoenus antarcticus* con un nivel de balance neto de -44 Tg C. (Figura 12 C)

Figura N° 12 Dinámica de Carbono entre los paralelos 38°S y 55°S según piso vegetal



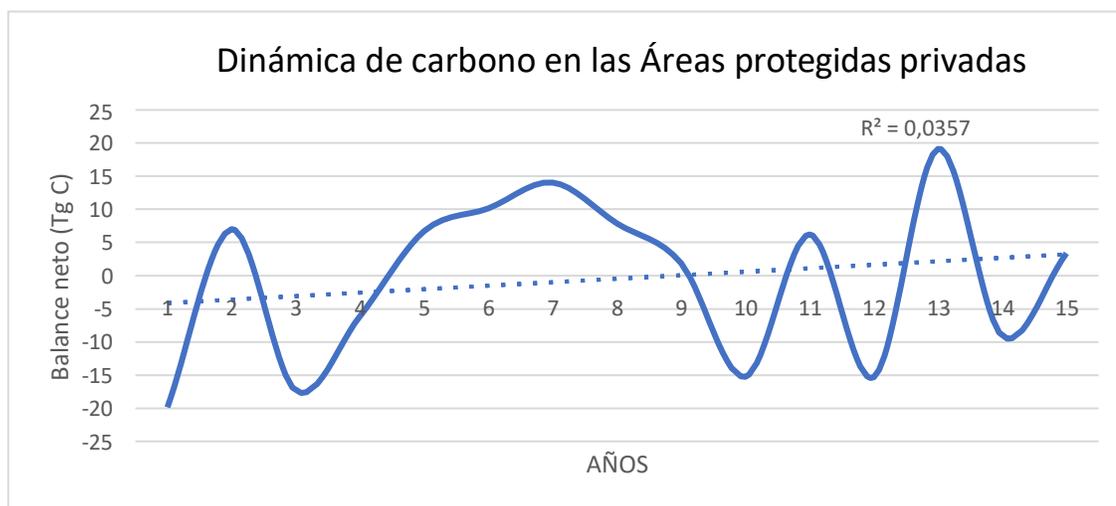
6.3. Tendencias y dinámica de carbono de la vegetación de Chile continental según tipo y unidad de área silvestre protegida

6.3.1. Análisis de las tendencias y dinámica de la vegetación de Chile continental según tipo de área protegida

Se muestra la dinámica de carbono para las áreas protegidas privadas, considerando 376 unidades repartidas a lo largo del país, en este punto y tomando como referencia la Figura N°13, se puede mencionar que durante 2004-2008 hubo una tendencia clara hacia la emisión dentro de estas unidades, indicando que las diferencias entre años, generaban un déficit de carbono, explicando el que los valores en la dinámica de carbono dentro de ese periodo estuvieran en rangos positivos.

Junto a lo anterior, durante los últimos años del estudio, este dinamismo fue muy amplio, tomando en cuenta los años 2009-2014 se logra vislumbrar como la curvatura de la tendencia, indica valores de stock de carbono muy dispares entre un año y otro. Por último, se aprecie una ligera tendencia hacia la emisión de carbono.

Figura N°13 Dinámica de carbono para Áreas protegidas privadas



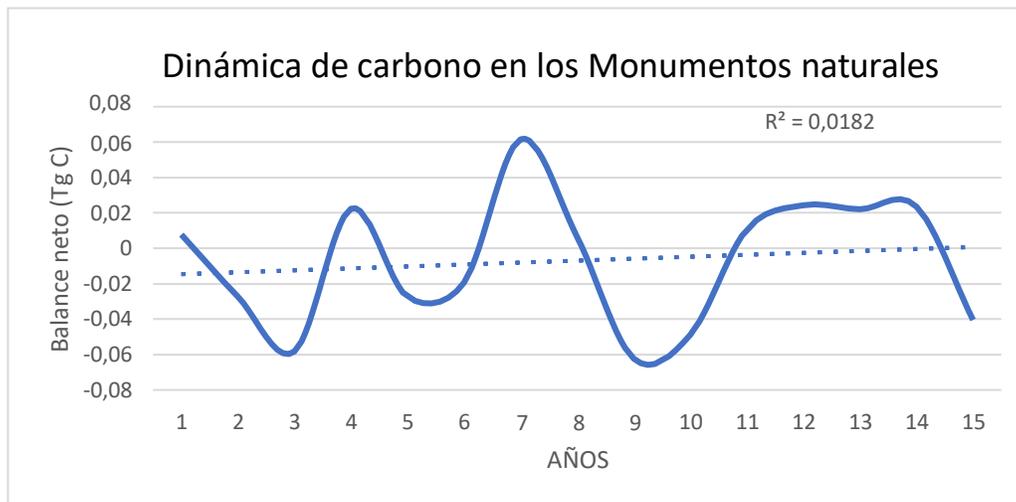
Los monumentos naturales aparecen dentro de este análisis como los menos numerosos, con tan solo catorce unidades a lo largo del país, sumado además a que tienen los niveles de stock de carbono más bajos, dada su extensión. Viendo sus valores de dinámica de carbono en el anexo N°5 se puede señalar que estos van en aumento, esto además se puede corroborar con lo mostrado en la figura N°14.

Se aprecia que durante los años 2010-2013 los valores de estas unidades

protegidas tuvieron un balance negativo de un año para otro, explicando los valores que muestra la figura N°14.

Otro periodo que se puede mencionar, es el que corresponde al 2000-2009 donde hubo una dinámica bastante amplia, hablando de que los valores entre años variaban, explicando la forma de la curva que se aprecia en el gráfico, haciendo énfasis entre 2002-2003, donde hubo una pérdida de stock de carbono y 2006-2008 donde paso lo contrario, sumando carbono dentro de sus valores.

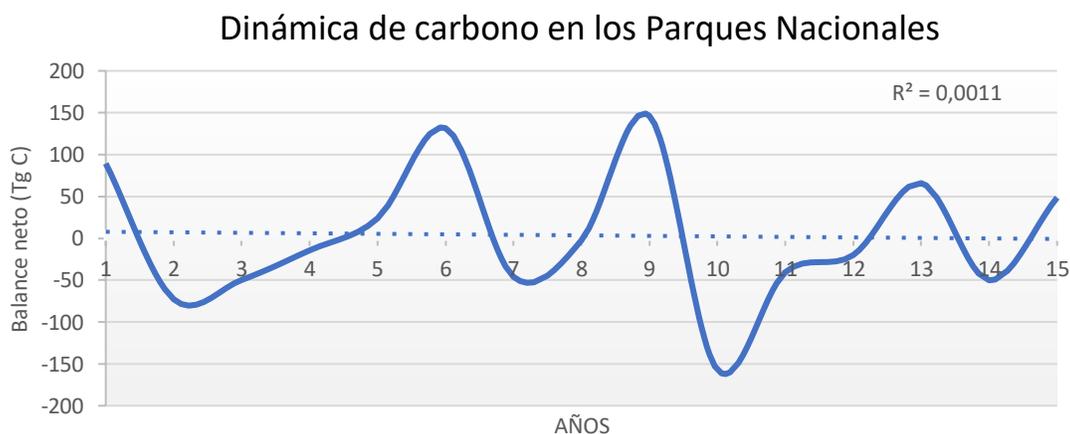
Figura N°14 Dinámica de carbono para Monumentos Naturales



En un tercer punto de este análisis tenemos a los parques nacionales, donde aparecen con 40 unidades evaluadas. De estas se puede mencionar que según el anexo N°4, sus valores en dinámica de carbono tienden a aumentar su captura.

Dentro de la figura N°15, se ve como durante los años 2001-2005 hubo un aumento progresivo en la emisión de carbono, señalando de manera directa una reducción en el stock dentro de estas áreas protegidas, junto a esto durante el periodo 2008-2009 hubo un *peak* en la emisión de carbono.

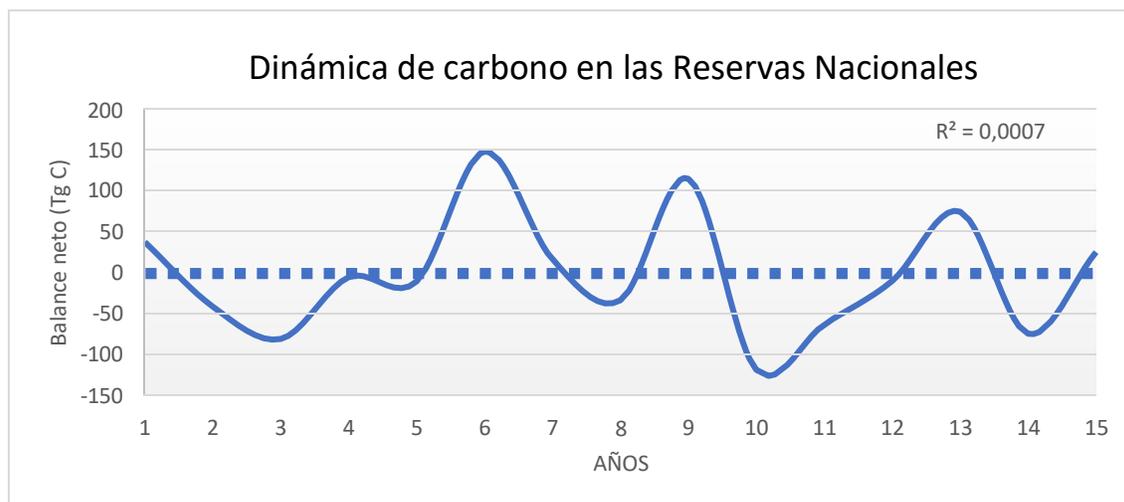
Figura N°15: Dinámica de carbono para Parques Nacionales



En una vereda opuesta a los Parques Nacionales se encuentran las Reservas Nacionales, por un punto hablando sobre su balance neto de stock de carbono y también por la diferencia entre sus niveles de carbono para los años 2000 y 2015. Lo anterior se corrobora con los datos expuestos en el anexo N°5, donde se aprecia la diferencia existente entre los años 2000 y 2015, con una tendencia la captura.

La figura N°16 muestra, que los valores en la dinámica de este tipo de unidad protegida son bastantes altos, junto a que se ve como pasaron por distintas tendencias dentro de su dinámica, por ejemplo, durante 2000-2002 hubo un aumento en el stock de carbono, pero esto cambia durante el 2009-2012, donde los valores se vieron reducidos, explicando la forma de dicha curva.

Figura N°16 Dinámica de carbono para Reservas Nacionales



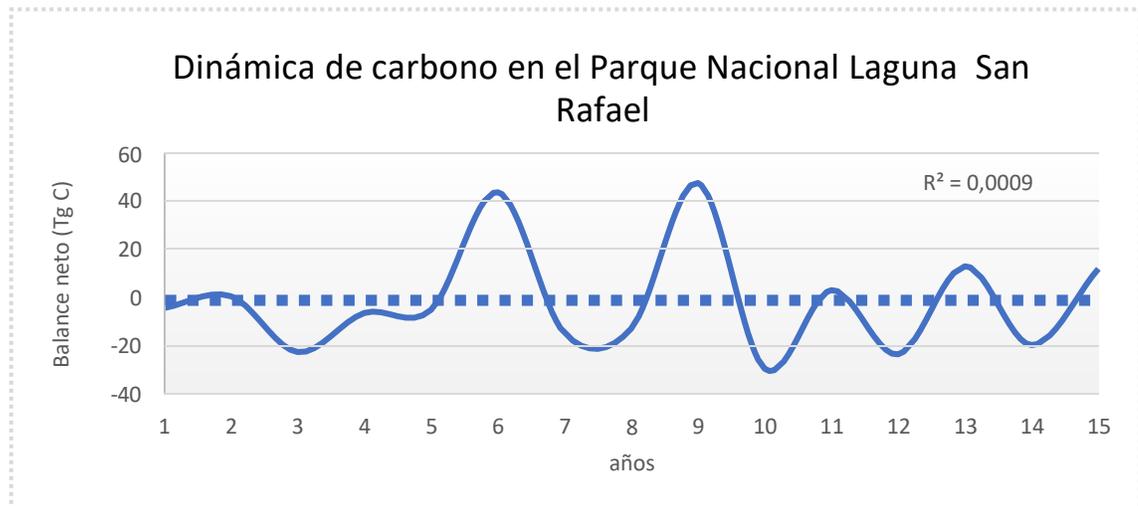
6.3.2. Análisis de las tendencias y dinámica de la vegetación de Chile continental según unidad de área protegida

A) Unidades de áreas protegidas con comportamiento de sumidero de carbono:

Dentro de las unidades que mayor aporte de carbono tuvieron, fue el parque nacional Laguna San Rafael (ID 33), donde si se observan sus valores en la dinamica de carbono en el anexo N°6, se puede ver como estos durante el periodo de estudio aumentaron, teniendo en su balance anual orientado a la captura, lo que nos habla de un posible sumidero de carbono durante el periodo de estudio.

Viendo la figura N°17 se ve como la dinámica de este parque nacional fue bastante activa, teniendo años con valores positivos y negativos, hablando específicamente de variaciones amplias entre años. Lo anterior queda claro cuando se observa el periodo 2004-2009 donde hubo un dinamismo amplio, existiendo variaciones entre años ya sean positivas o negativas.

Figura N°17 Dinámica de carbono en el parque nacional Laguna San Rafael

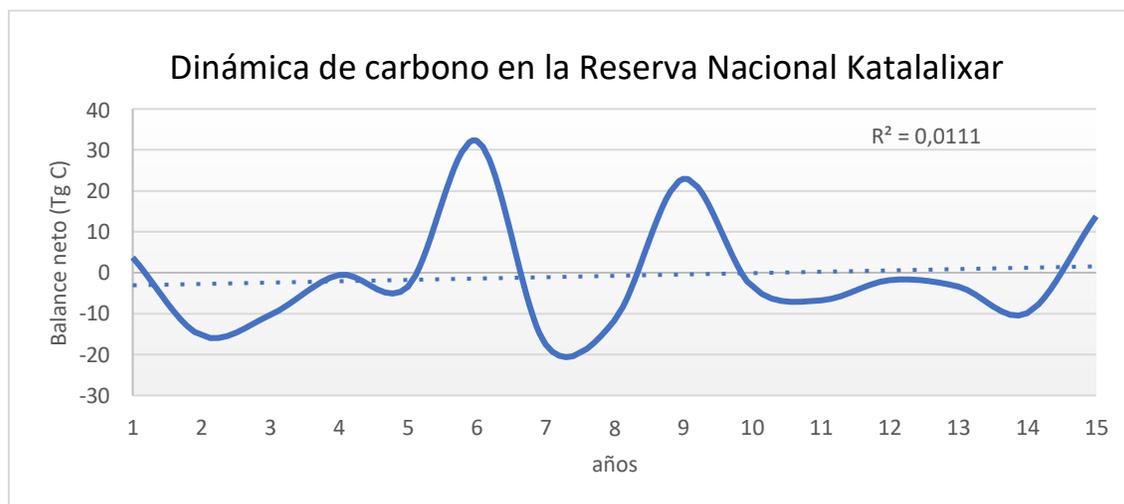


Por otro lado, tenemos la reserva nacional Katalalixar como un posible sumidero de carbono. Esta reserva ubicada en Tortel ha presentado un aumento en sus niveles de stock de carbono, todo esto si vemos sus valores en el anexo N°6, donde se aprecia un leve aumento, junto a su valor de balance anual que es negativo, lo que lo posiciona como un sumidero dentro del espectro de unidades de áreas protegidas analizadas en este texto.

Esta Reserva, si se ve la figura N°18 se ve como la mayoría de sus valores lo posicionan como un sumidero, teniendo una variación amplia interanual entre los años 2005 y 2008, mostrando variaciones notorias entre el stock de carbono de esta reserva.

Durante los años 2009 y 2013, esta reserva tuvo un periodo de ganancia de stock de carbono, ya que sus valores en la dinámica de carbono están bajo los valores de 0.

Figura N°18 Dinámica de carbono en la reserva nacional Katalalixar



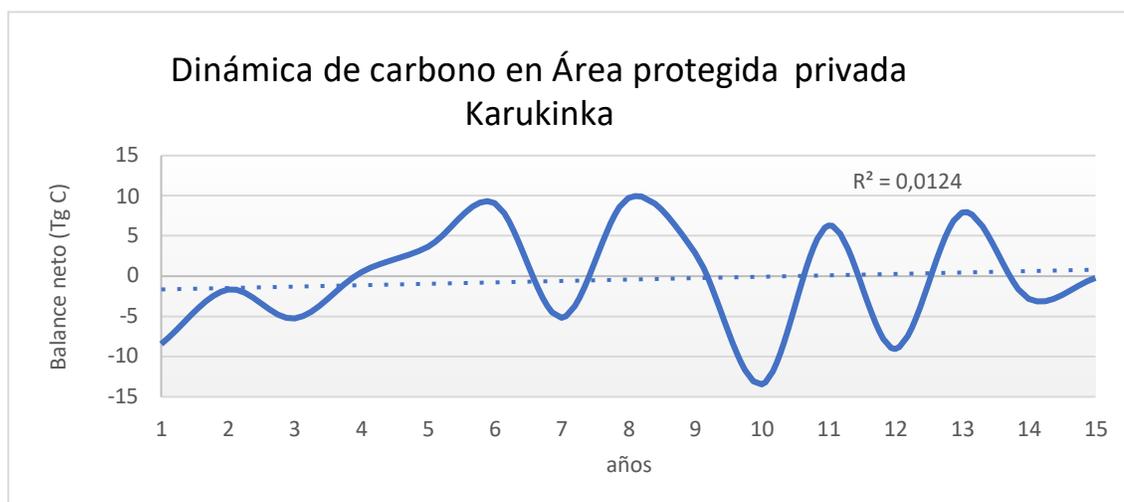
En esta parte del análisis, nos centraremos en el área protegida Karukinka, esta zona resguardada se encuentra ubicada en Tierra del fuego, lugar bastante interesante, dado los objetivos anteriores de este trabajo.

Por un lado, se tiene un menor nivel de stock de carbono que el resto de las áreas analizadas en este punto, esto se puede ver en el anexo N°6, donde aparecen los datos de esta área protegida.

Como primer punto, se tiene un aumento en sus niveles de stock de carbono, durante el periodo de estudio, sumado a que su balance anual corresponde a cifras negativas, esto lo posiciona como un sumidero de carbono, dentro del área donde está inserto.

La dinámica de carbono de esta área protegida privada se observa en la figura N°19, cabe señalar que tuvo una dinámica bastante llamativa, ya que, durante los años 2006 y 2014, tuvo una variación interanual amplia, mostrando que sus valores en el stock de carbono tuvieron un dinamismo amplio, sobre todo entre 2007 y 2011. La mayoría de sus valores en el grafico mencionado antes, lo posiciona como un sumidero dentro del área que está inserto.

Figura N°19 Dinámica de carbono en el Área protegida privada Karukinka



B) Unidades de áreas protegidas con comportamiento de emisor de CO₂:

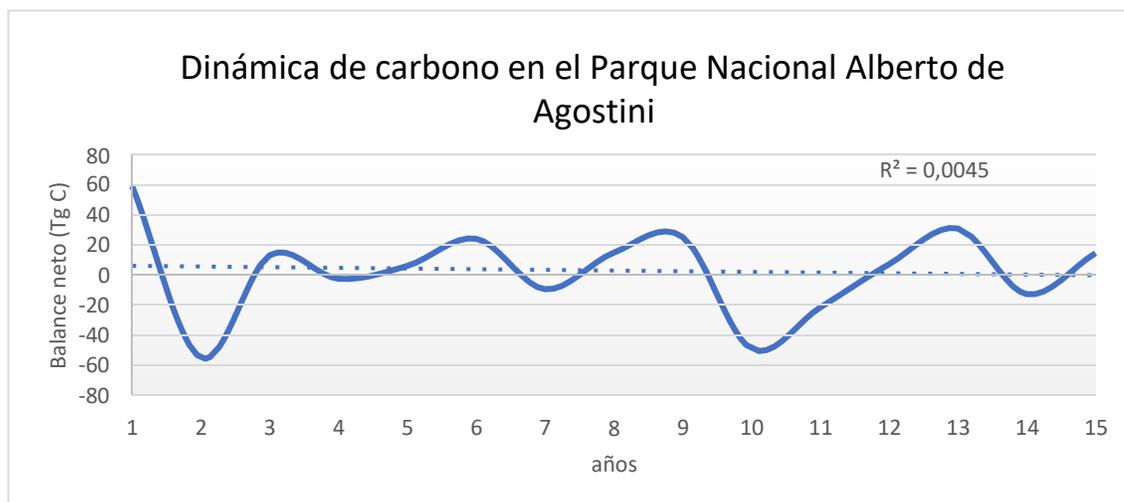
Comenzando este apartado tenemos al Parque Nacional Alberto de Agostini, área que se encuentra ubicada en la región de Magallanes y la Antártica Chilena. Este parque si tomamos los valores mostrados en el anexo N°6, se puede observar cómo durante el periodo de estudio, perdió stock de carbono y a un ritmo acelerado, mostrando leves mejorías en ciertos años, pero siempre con tendencias hacia la reducción de su nivel de stock de carbono.

Junto a lo mencionado antes, tenemos como su balance anual y neto de carbono, lo muestran como un emisor de CO₂, principalmente mostrando valores positivos, lo que lo delata como un emisor en potencia.

Este parque nacional, en la figura N°20 se ve como tuvo un comportamiento bastante homogéneo dentro del periodo 2002-2008, mostrando leves aumentos y disminuciones en la dinámica de carbono.

Dentro del periodo 2009-2012 se ve como hubo un aumento en la dinámica de carbono de este parque nacional, señalando una disminución en el stock de carbono de esta área protegida.

Figura N°20 Dinámica de carbono en el Parque Nacional Alberto de Agostini

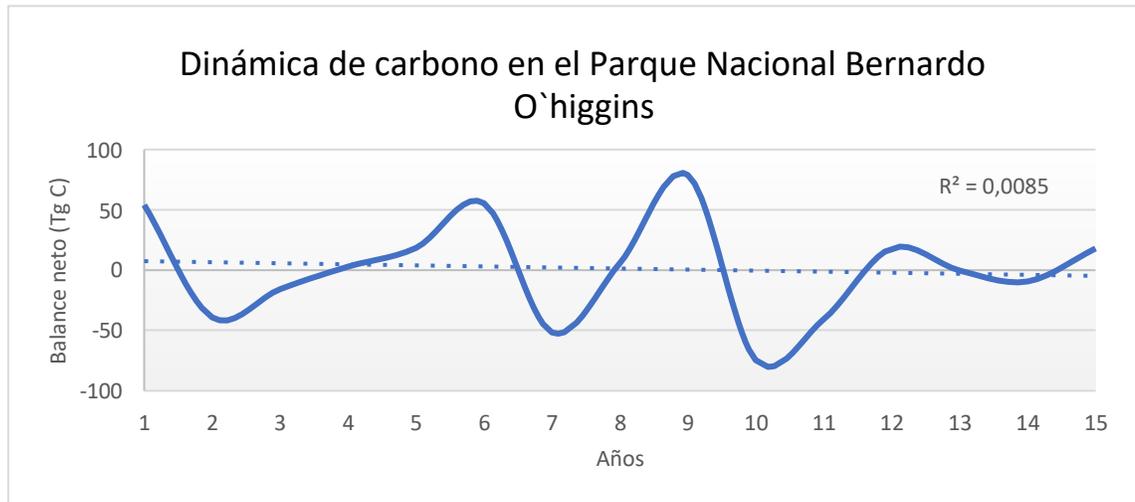


El Parque Nacional Bernardo O'Higgins ubicado en Tortel es otra área que se ha estado comportando como un emisor de CO₂ durante el periodo de estudio. Lo anterior se corrobora si se toma en cuenta los valores mostrados en el anexo N°6, donde sus valores de stock de carbono para año 2015, bajaron con respecto a las unidades mostradas en el 2000.

Junto a lo anterior, en la figura N°21 se ve como durante el periodo 2001-2005 hubo un aumento gradual en los valores de la dinámica de carbono, señalando de forma directa una reducción en el stock de carbono de este parque nacional, esto se vio drásticamente acabado durante el periodo 2005-2006, donde hubo un aumento en los valores de stock de carbono, mostrando en el grafico una reducción de los valores de la dinámica de carbono.

Durante el 2006 y 2008, también se ve en el grafico un aumento en la dinámica de carbono, señalando de forma directa también una reducción en los valores de stock de carbono, durante el fin de ese periodo, hubo un aumento en los niveles de stock, mostrando en el grafico una reducción en la dinámica.

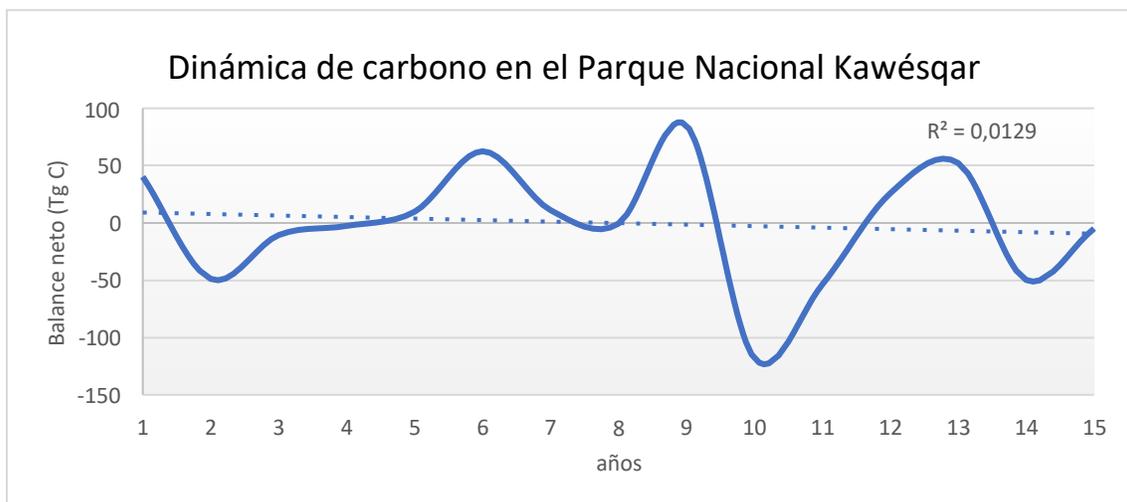
Figura N°21 Dinámica de carbono en el parque nacional Bernardo O'Higgins



El Parque Nacional Kawésqar, ubicado en la región de Magallanes y de la Antártica Chilena, tuvo un comportamiento de un emisor de CO₂ dentro de su zona, esto se logra ver en el anexo N°6 donde su valor de stock de carbono, durante el periodo 2000 al 2015 tuvo un leve aumento, pero al momento de ver su balance neto y anual se observan valores positivos, lo que nos habla del nivel de degradación de este parque.

Lo anterior se puede comprobar al ver la figura N°22, donde sus valores están mayoritariamente sobre 0, lo que comprueba lo anteriormente mencionado, junto a ello, se ve un aumento en la dinámica de carbono entre los años 2001 y 2005, indicando de forma directa una reducción en los valores de stock de carbono. Otro periodo que tuvo una reducción del stock de carbono fue durante el 2009 y 2012, donde se ve en la curva del grafico un aumento en la dinámica de carbono.

Figura N°22 Dinámica de carbono en el parque nacional Kawésqar



7. Discusiones y Conclusiones

7.1. Efectos climáticos sobre el balance

Los efectos del Niño y Niña según Maturana *et al.* (1997) corresponden a eventos que generan variaciones en la temperatura del mar, en los vientos alisios y en las lluvias, con ello mencionar que El niño provoca un aumento en las precipitaciones y La niña una reducción de estas. Estos fenómenos provocan perturbaciones de manera indirecta en la vegetación, generando un aumento de las condiciones de estrés en las plantas lo cual impide la captura de carbono y aumenta la emisión, las plantas dejan de hacer fotosíntesis y respiran emitiendo CO₂ (Kim et al. 2017). A continuación, se muestra una tabla (Nº3) con los años que tuvieron características de Niño o Niña, con el fin de poder generar una comparación, que permita ilustrar el efecto que tienen estos eventos en el comportamiento de la dinámica de carbono de los ecosistemas chilenos.

Tabla Nº4 Años clasificados por comportamientos de Niño o Niña

El Niño				La Niña		
Weak - 11	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 11	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		

Fuente: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

Las variaciones interanuales sorprenden a efectos de meso escala asociados a fenómenos niño y niña, mientras que la curva de tendencia en el periodo total de análisis se podría vincular a escalas más grandes y asociarse al efecto de cambio climático (Kim et al. 2017).

Las Turberas, Bosque Caducifolio y Bosque Resinoso respectivamente. Se aprecia como existen aumentos en la dinámica de carbono en las Turberas, siendo los periodos de 2005-2006, 2008-2009 y 2014-2015 lo más llamativos, ya que coinciden con los años Niña mostrados en la tabla anterior. Por otro lado, se tiene un aumento en la captura de carbono de las Turberas entre los años 2006-2007 y 2009-2010,

estos periodos corresponden a años niño, lo que explicaría dicha variación interanual.

Con respecto a la formación de Bosque Caducifolio se tiene un aumento en la dinámica de carbono durante los años 2005-2006 y 2010-2011, años que si se revisa la tabla N°3 se puede apreciar que corresponden a Niña, explicando dicho aumento. Por el otro lado se tiene que durante los años 2002-2003 y 2009-2010 hubo una reducción en el balance neto de esta formación, esto se explica porque dichos años corresponden a años Niño, lo que daría sentido a dicha variación. (Figura N°9).

En el Bosque Resinoso, tenemos que en los años 2001-2002, 2005-2006, 2008-2010 hubo un aumento en los niveles de balance neto, esto tiene su razón en que dichos años corresponde a Niña, lo que daría razón a la baja en los niveles de stock de carbono. Por el lado contrario, tenemos que en el año 2002-2003 hubo una reducción en los niveles de balance neto, explicándose por el hecho de que dicho periodo correspondió al fenómeno Niño. (Figura N°10)

Comprender los flujos de carbono de los bosques y otros ecosistemas terrestres en todo el mundo es fundamental para predecir las tendencias a largo plazo de la dinámica y el equilibrio del carbono frente al aumento de las emisiones antropogénicas de carbono y el cambio climático (Friend et al. 2007). Lo anterior tiene su principal sustento, en que un correcto enfoque ambiental por parte de los distintos gobiernos a lo largo del mundo, puede generar acciones concretas en ecosistemas específicos, con el fin de poder recuperar áreas que actualmente se encuentran deterioradas y están actuando como emisores de CO₂. Parte importante del rol de la conservación y la generación de políticas de adaptación al cambio climático se vincula con identificar la situación de los ecosistemas naturales en cuanto a su balance de carbono, permitiendo mejorar sus acciones de conservación en la política pública (Alaniz et al. 2019).

Los modelos actuales sugieren que la tierra podría calentarse entre 1,8 y 4 ° C para 2090-2099 en relación con 1980-1999, con cambios asociados en la distribución de las precipitaciones y el aumento del nivel del mar. En un escenario de cambio climático, las predicciones mencionadas antes, generarían una mayor presión sobre los distintos ecosistemas a lo largo del país, elemento que ayudaría en la degradación de su stock de carbono o modificando sus patrones de distribución. De hecho, Pliscoff et al. (2012) llevaron a cabo una serie de predicciones de los ecosistemas nacionales, mostrando que el Matorral Desértico en el año 2080 aumentara su abundancia en un 16%, expandiendo su tamaño en un 44%. Sin embargo, los resultados del presente estudio evidencian que el matorral desértico cercano a la zona de Coquimbo ha experimentado una gran degradación. Esta zona corresponde al desierto florido, el cual cada año ha tenido una dinámica menos recurrente, volviéndose un fenómeno cada vez más escaso. Esta disminución en la actividad de las plantas reduce el banco de semillas disponibles en el suelo, lo cual genera una reducción en la productividad primaria una vez que se genera el fenómeno, es decir, el desierto florido es cada vez menos abundante.

La vegetación de Chile sustenta una flora rica y endémica de 4985 especies, muchas de las cuales se encuentran en el Hotspot de Biodiversidad del centro de Chile. Esta zona ha sido fuertemente perturbada en el último tiempo, estando actualmente varios de sus ecosistemas amenazados (Alaniz et al. 2016; Alaniz, 2019). El impacto del cambio climático en vegetación del sur y cualquier retroalimentación posterior sobre el clima de la Antártida, por lo tanto, son de interés regional y mundial. (Plissock et al. 2012). El Bosque Esclerófilo, viendo el anexo N°2 se puede señalar que los montos máximos de stock de carbono de esta formación están siendo cada vez menores, lo que podría señalar como este ecosistema está creciendo a un ritmo cada vez más lento, concordando con lo mencionado por el estudio de Plissock (2012).

Una alarmante evidencia entregada por el presente estudio se vincula a la degradación de ecosistemas de la zona sur de Chile, donde se cuenta el Bosque laurifolio y siempre verde o selva Valdiviana. Esta ha evidenciado una de las mayores degradaciones entre todos los ecosistemas, evidenciando una tendencia neta clara hacia la emisión. Dicho patrón había sido planteado anteriormente a través de estudios de modelación por Plissock et al (2012), por lo tanto, los resultados de ambos trabajos demuestran ser concluyentes y correlativos. En este caso se presenta evidencia empírica, la cual es coincidente con los modelos planteado por Plissock et al. (2012). Por otro lado, es importante destacar que estos ecosistemas no han sido fuertemente afectados por dinámicas de deforestación y pérdida de hábitat, por lo cual la degradación producto del cambio climático, sería su principal fuente de amenaza (Carvajal et al. 2018; Alaniz et al. 2018). La justificación de esta degradación se vincula a la fragilidad de las plantas laurifolias, las cuales tienen hojas grandes y estomas delgados y sensible a la desecación (e. g. Nalcas), sus hojas grandes se encuentran evolutivamente adaptadas a sitios con una radiación baja, por lo cual un aumento en estos montos puede diezmar su sobrevivencia (Smith-Ramirez et al. 2019).

Un efecto contrario, se evidencio en la zona sur austral del país cerca de campos de hielo sur, en donde la captura ha tendido a aumentar de forma notoria. Esto se debe a que en dicha zona ha existido un aumento de la pluviosidad y la temperatura, ello podría estar aumentando la tasa fotosintética de los árboles, los cuales en su mayoría son caducifolios en dicha zona. Sin embargo, estas especies se encuentran evolutivamente adaptadas a periodos fríos con baja radiación y pluviosidad sólida, en donde pierden sus hojas; al respecto estudios en otros ecosistemas del mundo han evidenciado que estos aumentos en la actividad de las plantas pueden afectar sus estructuras metabólicas, reduciendo sus vidas y acelerando su punto de marchitez (Baccini et al. 2017; Aleixo et al. 2019). Por lo cual, alcanzado un punto determinado estas plantas podrían verse afectadas por una sobre carga de actividad fotosintética, y finalmente terminar degradándose (Alaniz *comunicación personal*).

7.2. Uso de suelo antrópico

Una extensa zona que tiene una clara tendencia hacia la emisión de carbono en la zona andina entre los 21°S -23°S y los 68°W- 69°W podría vincularse a la ubicación de la minera Centinela de Antofagasta Minerals, lo que podría explicar por sí misma la degradación existente en dicha zona. Luego entre los 25°S-26°S y 71°W-70°W se encuentra un área con evidencias de un deterioro para el periodo de estudio, esto se puede explicar por la presencia de yacimientos mineros en dicho lugar, específicamente la minera Cerro Negro Norte. (Figura N°6). En la zona que abarca desde los paralelos 31°S al 33°S ha habido una degradación notoria de la vegetación. Lo mencionado antes se puede explicar por un lado por la presencia de mineras en dicha zona, una de las más conocidas es la Minera Los Pelambres, destacando por su alto impacto ambiental. (Figura N°6).

Más al sur el establecimiento de plantaciones forestales en Chile comenzó a mediados de la década de 1940. Sin embargo, fue solo después de las reformas neoliberales emprendidas después de 1973 que la política forestal chilena apoyó firmemente las plantaciones, principalmente a través del Decreto Ley 701 (DL 701), que fue promulgada en 1974. (Nahuelhual et al. 2012). Este modelo de plantación forestal ha sido considerado como un éxito y muchos países en el mundo en desarrollo han tratado de emularlo. Sin embargo, si bien este modelo ha sido visto como un logro económico, la conversión a plantaciones es una de las mayores amenazas para los ecosistemas de bosques nativos, en particular las selvas tropicales templadas ubicadas en las regiones centro sur y sur del país (35–41° S). (Nahuelhual et al. 2012). La fragmentación de hábitat provocado por las plantaciones forestales, como menciona Echeverría et al. (2006) tienen efectos negativos en la riqueza de especies al reducir la probabilidad de establecimiento y dispersión de especies nativas, así como también al reducir la capacidad de un parche de hábitat para mantener una población residente (Carvajal et al. 2018).

Junto a lo anteriormente citado, es importante añadir que Bosques nativos, plantaciones forestales y todo tipo de áreas con vegetación almacenan carbono, actuando como un servicio ecosistémico de relevancia global y local. Cuando estas áreas se incendian, liberan no solo carbono, en forma de CO₂ o CO, a la atmósfera, sino también PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, entre otros compuestos; cancelando los efectos positivos de los servicios ecosistémicos que proporcionan (Cuchiara et al., 2017; Rubio et al., 2015; Price et al., 2012).

7.3. Incendios forestales

Los ecosistemas naturales de Chile continental, no solo se han estado enfrentando a un evidente cambio climático y cambio de uso de suelo, sino que además se puede sumar el factor de incendios forestales, ligado íntimamente a la actividad humana, específicamente hablando de la industria forestal (Lara et al. 2009; Alaniz et al. 2016). El factor de los incendios forestales está íntimamente relacionado al cambio climático. Según explica Stevens-Rumann et al. (2018) en Núñez (2019) Los

incendios forestales ocurrirán con mayor frecuencia en un mundo futuro afectado por el cambio climático. El aumento de las temperaturas aumentará la materia seca disponible y la aparición de incendios, lo que aumentará el estrés por humedad en las plantas y disminuirá la regeneración (Ubeda y Sarricolea, 2016).

Se ha evidenciado que los incendios forestales desempeñan un papel fundamental en la vida de la Tierra, ya que tienen fuertes consecuencias ecológicas en los patrones y dinámicas del paisaje y los ecosistemas (Úbeda y Sarricolea, 2016; Pausas y Keely, 2009). Entre los muchos efectos positivos, los incendios forestales ayudan a mantener el complejo de combustible resistente a la quema severa mediante el manejo natural de las estructuras horizontales de los bosques. También pueden aumentar la diversidad de las plantas cuando las semillas nativas son dominantes y aceleran el ciclo de nutrientes, enriqueciendo los ecosistemas de forma biológica (Hurteau et al., 2014 en De La Barrera 2018). La mayoría de estos efectos positivos dependen del régimen de fuego natural de los biomas y de la ocurrencia de incendios forestales de baja gravedad (Mitchard, 2018). Sin embargo, cuando el régimen de fuego no es natural o estos aumentan en el tiempo y espacio, las consecuencias son diferentes. El cambio climático induce modificaciones en ambas características, por ejemplo, si el patrón de la precipitación cambia, afecta a la estructura del bosque y los incendios forestales podrían alcanzar mayores severidades en el corto plazo, teniendo efectos en los servicios ecosistémicos proporcionados (Lee et al., 2015; Rocca et al., 2014). En lugares donde los incendios no son naturales y existen especies invasoras se puede generar un cambio en la dominancia de las especies, beneficiando a las invasoras por sobre las nativas, lo cual puede amenazar seriamente a la biodiversidad de dicho ecosistema (Pauchard et al. 2008).

En las cercanías de la ciudad de Valparaíso es posible ver los efectos de la actividad humana en el balance de carbono de los ecosistemas naturales, esto se puede explicar por la constante presencia de incendios forestales en la región, sumado a que existe una gran presión antrópica sobre el ecosistema tipo (Ubeda y Sarricolea, 2016; Carvajal y Alaniz, 2019), lo que ha llevado a que dicha zona, tenga un comportamiento de emisión de carbono, no al menos de forma completa, sino que en secciones de ella. (Figura N°6).

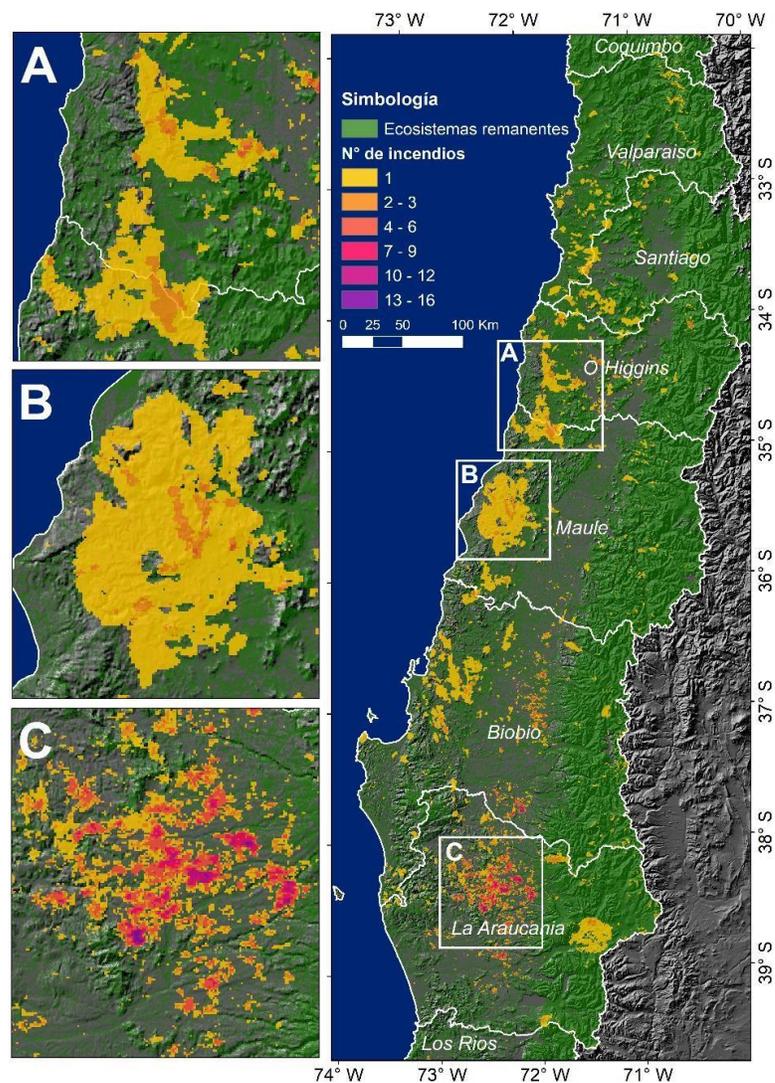
Por otro lado, en el año 2017, la zona centro-sur del país se vio afectado por una ola de incendios forestales, algunos tomando las características de mega incendios, es de importancia el aportar las cifras de dichos eventos, para tener una mejor visión del estado de la vegetación y de cómo influyo en la dinámica de carbono. De la Barrera (2018) añade que los incendios forestales mencionados aquí fueron más severos en áreas dominadas por grandes fragmentos de plantaciones forestales que en fragmentos dominados por vegetación nativa. De hecho, las regiones más afectadas perdieron hasta el 30% de su área total de plantaciones forestales, en comparación con el 10% de los bosques nativos.

Existen estudios que hablan de cómo la zona costera del centro-sur, desde la región de Valparaíso hasta la Región de Los Ríos son la zona de mayor ocurrencia de

incendios forestales (Úbeda y Sarricolea, 2016; McWethy et al. 2018). Junto a eso la zona costera del bioma mediterráneo chileno es la que muestra amenaza en su conservación según los criterios de la Lista Roja de Ecosistemas (LRE) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), con ocho ecosistemas amenazados, siendo los ecosistemas del bosque maulino uno de los más afectados (Alaniz et al. 2016).

Carvajal y Alaniz (2019) estudiaron los incendios forestales en Chile entre el 2001 y 2018, cuantificándolos en extensión y en cantidad, junto a categorizarlos según su nivel de vulnerabilidad. En este sentido, en la figura N°23 se pueden ver de manera explícita la cantidad de incendios dentro de la fecha nombrada.

Figura N°23. Número, superficie y frecuencia de incendios entre el año 2000 al 2018.



Fuente: Carvajal y Alaniz (2019)

La imagen anterior se puede comparar perfectamente con la Figura N°6 mostrada los resultados de esta investigación, donde coinciden las zonas de mayor número de incendios con aquellas que tuvieron una dinámica de carbono de tipo emisor, habiendo relación entre estos fenómenos con la degradación de dichas áreas. Es interesante el hecho de que el presente trabajo sin tener los datos de los incendios del 2017 muestre similitud con trabajos de indoles similares.

7.4. Conclusiones finales

Es importante señalar también que el nivel de balance neto mostrado en el “Informe Del Inventario Nacional De Gases De Efecto Invernadero De Chile” para los ecosistemas naturales, coincide con los calculados dentro de este documento. Dentro de este documento se analizó la dinámica de carbono de los distintos ecosistemas naturales del país, bajo distintas categorías, frente a ello el estado de los pisos vegetacionales se puede decir que es dispar, por un lado, se tienen un cierto grupo de ecosistemas que se encuentran emitiendo carbono actualmente, y esto se puede resumir en distintas formaciones. De lo anterior señalar también, que los ecosistemas que se encuentran en la categoría de emisor corresponden a tan solo treinta pisos vegetacionales, siendo un número bastante menor al de sumideros, el cual corresponde a noventa y siete, aspecto que nos podría hablar sobre el estado global de los ecosistemas de Chile continental.

Actualmente es preocupante el estado de distintas zonas del país, por un lado, se tiene el deterioro del área que corresponde al desierto florido y el bosque valdiviano. Junto a ello el estado de la vegetación que se encuentra en la zona centro del país, también se encuentra dentro de la misma categoría. Quizás el estado de la vegetación en la Isla Grande de Chiloé es otro aspecto para resaltar- pero de manera negativa- ya que es la zona que se puede ver con mayor extensión su categoría de emisor de carbono. (Figura 7A). A esto se suma, el aumento en la actividad de la zona austral la cual podría a futuro generar una degradación asociada a este proceso.

El presente estudio, plantea la forma de generar estimaciones de carbono a partir de la utilización de modelamiento en base a estudios publicados e imágenes satelitales procesada en la nube con GEE. Ello representa un avance en la evaluación de los balances de carbono que debe ser complementado con estimaciones locales en base a datos LiDAR y mediciones en terreno. Sin embargo, es útil para evaluar de forma rápida y a bajo costo la situación de los ecosistemas, siendo particularmente importante en países en desarrollo. Por otro lado, se entregan resultados concluyentes que podrían ser útiles en la priorización para la conservación, así como también en el diseño de planes de adaptación al cambio climático y restauración ecológica. Se ha destacado que la vegetación natural tiene un rol fundamental frente a las dinámicas del cambio climático, por lo cual se hace necesario su conservación permitiendo la captura de carbono y la reducción de los montos de emisiones anuales. Finalmente, contar con información espacialmente explícita sobre carbono es urgente y necesario si se busca lograr la carbono

neutralidad que Chile ha suscrito dentro de las metas de la COP25.

8. Bibliografía

Alaniz AJ (2019). Chile: Environmental History, Perspectives and Challenges. NOVA Science Publishers Inc. New York, USA. 307 pags. ISBN: 978-1-53615-665-2

Alaniz AJ, Carvajal MA, Smith-Ramírez C, Barahona-Segovia RM, Vieli L, (2018). Habitat loss of a rainforest specialist pollinator fly as an indicator of conservation status of the South American Temperate Rainforests. *J. Insect Conserv.* 22, 745–755.

Alaniz AJ, Galleguillos M, Perez-Quezada JF, (2016). Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: The case of the central Chile hotspot. *Biol. Conserv.* 204, 378–385.

Alaniz AJ, Pérez-Quezada JF, Galleguillos M, Vásquez AE, Keith DA, (2019). Operationalizing the IUCN Red List of Ecosystems in public policy. *Conserv. Lett.* 12, e12665.

Aleixo I, Norris D, Hemerik L, Barbosa A, Prata E, Costa F, Poorter L, (2019). Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nat. Clim. Chang.* 9, 384–388.

Allel CO V, Aronson J, Vendaño JA, Meneses R, Moreno R, (1993). Rehabilitation of degraded ecosystems in central Chile and its relevance to the arid 'Norte Chico'. *Revista Chilena de Historia Natural.* 291–303.

Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D.T., Lobo, J.M., Millán, A., Sánchez-Fernández, D. (2012). Species vulnerability under climate change, a new challenge for biodiversity conservation.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., Houghton, R. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 1-10.

Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, (84-85), 8-15.

Benjamín, J., & Maser, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7 (1), 3-12. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Revista Ecosistemas*, 16(3).

Bolin, Bert & International Council of Scientific Unions. Scientific Committee on Problems of the Environment (1986). The Greenhouse effect, climatic change, and ecosystems.

- Brown, J., Stevens, G., Kaufman, D. (1996). The geographic range: Size, shape, boundaries, and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 597-623.
- Brown, S., & Lugo, A. (1984). Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science*, 223(4642), 1290-1293.
- Carvajal MA & Alaniz AJ (2019). Incendios forestales en Chile central en el siglo XXI: impacto en los remanentes de vegetación nativa según categorización de amenaza y recuperación de cobertura. En: *biodiversidad y conservación de los bosques costeros de Chile*. Ed. Smith-Ramírez C, Squeo F, Editorial Universidad de Los Lagos. Chile. 487-504.
- Carvajal MA, Alaniz AJ, Smith-Ramírez C, Sieving KE, (2018). Assessing habitat loss and fragmentation and their effects on population viability of forest specialist birds: Linking biogeographical and population approaches. *Divers. Distrib.* 24, 820–830.
- Cuchiara, G.C., Rappenglück, B., Rubio, A., Lissi, E., Gramsch, E., G., R.D., (2017). Modeling study of biomass burning plumes and their impact on urban air quality; a case study of Santiago de Chile. *Atmos. Environ.* 166, 79–91.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services* (Vol. 3). Island Press, Washington, DC.
- Dallimer, M., Irvine, K., Skinner, A., Davies, Z., Rouquette, J., Maltby, L., Warren, P., Armsworth, P., Gaston, K. (2012). Biodiversity and the Feel-Good Factor: Understanding Associations between Self-Reported Human Well-being and Species Richness. *BioScience*, 47–55.
- De Groot, R. S. (1992). *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff BV.
- De Groot, R.S. (2006). Function analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multifunctional landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75: 175-186.
- De la Barrera, F., Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of the Total Environment*, 637, 1526-1536.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, xxxvii (2), 227-240.
- Donoso, S., Sánchez, C., Obispo, A., & Herrera, M. (2002). Evaluación de las modificaciones al sistema radical de eucalipto causadas por el laboreo. *Quebracho, Revista de Ciencias Forestales*, 9, 54–59.

Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., & Walker, T. H. (2008). Biofuels engineering process technology (No. Sirsi) i9780071487498). New York: McGraw-Hill.

Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., & Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological conservation*, 130(4), 481-494.

Gómez Giraldo, L. (2011). La Biodiversidad. *Gestión y Ambiente*, 14 (2), 59-72.

Gómez-Baggethun, E., & de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Ecosistemas*, 16(3).

Henríquez, C. (2016). Impactos, vulnerabilidades y desafíos frente al cambio climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 5-7.

Hoen, H. and Solberg, B. (1994). Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural treatment, *Forest Science* 40(3), 429– 451

Hooper, D.U., Chapin III, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. y Wardle, D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3-35

Hurteau, M. D., Bradford, J. B., Fulé, P. Z., Taylor, A. H., & Martin, K. L. (2014). Climate change, fire management, and ecological services in the southwestern US. *Forest Ecology and Management*, 327, 280-289.

IAVH. (2000) convenio de las naciones unidas sobre diversidad biológica y protocolo de Cartagena sobre seguridad en la biotecnología. Instituto de investigaciones de recursos biológicos Alexander von Humboldt.

Kim J-S, Kug J-S, Jeong S-J, (2017). Intensification of terrestrial carbon cycle related to El Niño–Southern Oscillation under greenhouse warming. *Nat. Commun.* 8, 1674.

Lara A, Little C, Urrutia R, McPhee J, Álvarez-Garretón C, Oyarzún C, Soto D, Donoso P, Nahuelhual L, Pino M, Arismendi I, (2009). Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *For. Ecol. Manage.* 258, 415–424.

Li, S., Su, J., Lang, X., Liu, W., Ou, G. (2017). Positive relationship between species richness and aboveground biomass across forest strata in a primary *Pinus kesiya* forest. *Scientific Reports*, 1-9.

Locatelli, B., & Leonard, S. (2001). Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Bois et forets des tropiques*, (267), 69-81.

- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria.
- Martín-López, B., González, J., Díaz, S., Castro, I., & García-Llorente, M. (2008).
- Masera, O. R. (1996). Deforestación y degradación forestal en México: documento de Trabajo. Grupo Interdisciplinario de tecnología Rural Apropiable, 19, 1-15
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (1997). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *El Niño-La Niña*, 2000, 13-27.
- McCauley, D., Pinsky, M., Palumbi, S., Warner, R. (2015). Marine defaunation: animal loss in the global ocean. *Science*, 347-350.
- McKinney, M. L. (1997). Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annual review of ecology and systematics*, 28(1), 495-516.
- McWethy, D. B., Pauchard, A., García, R. A., Holz, A., González, M. E., Veblen, T. & Currey, B. (2018). Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *PloS one*, 13(8), e0201195.
- MEA. (2005). Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute., Washington, D.C.
- Ministerio de Minas y Energía (2008). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Unidad de Planeación Minero-Energética, Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C., Colombia.
- Mitchard, E. T. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715), 527-534.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Moya, B., & Hernández, A., & Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (37), 127-132.
- Murray, N., Keith, D., Bland, L., Ferrari, R., Lyons, M., Lucas, R., Pettoelli, N., Nicholson, E. (2018). The role of satellite remote sensing in structured ecosystem risk assessments. *Science of the Total Environment*, 249-257
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C., & González, M. E. (2012). Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and urban planning*, 107(1), 12-20.
- Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv. Biol*, 355-364.

Núñez-Hidalgo, I. (2019) Climate change: impacts, policy and perspectives. perspectives and challenges, 119.

Pauchard A, García RA, Peña E, González C, Cavieres LA, Bustamante RO, (2008). Positive feedbacks between plant invasions and fire regimes: *Teline monspessulana* (L.) K. Koch (Fabaceae) in central Chile. *Biol. Invasions* 10, 547–553.

Pausas, J. G. & Keeley, J.E., (2009). A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59: 593-601.

Pedrinaci, E., Gil, C., & Carrión, F. (2003). *Biología y Geología: Proyecto Exosfera*. Ed. SM Madrid.

Pettorelli, N., Buhne, H., Tulloch, A., Dubois, A., Macinnis-Ng, C., Queiros, A., Keith, D., Wegmann, M., Schrod, F., Stellmes, M., Sonnenschein, R., Geller, G., Roy, S., Somers, B., Murray, N., Bland, L., Geijzendorffer, I., Kerr, J., Broszeit, S., Leitao, P., Duncan, C., El Serafy, G., He, K., Blanchard, J., Lucas, R., Mairota, P., Webb, T., Nicholson, E. (2017). Satellite remote sensing of ecosystem functions: opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1-23.

Pettorelli, N., M. Wegmann, A. Skidmore, S. M€ucher, T. P. Dawson, M. Fernandez, et al. (2016). Framing the concept of Satellite Remote Sensing Essential Biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 2, 122–131.

Pliscoff, P., Arroyo, M. T. K., & Cavieres, L. (2012). Changes in the main vegetation types of Chile predicted under climate change based on a preliminary study: models, uncertainties and adapting research to a dynamic biodiversity world. In *Anales del Instituto de la Patagonia* (Vol. 40, No. 1, pp. 81-86). Universidad de Magallanes.

Ponce, Roberto, Maria Blanco, and Carlo Giupponi. (2014). "The Economic Impacts of Climate Change on the Chilean Agricultural Sector: A Non-Linear Agricultural Supply Model." *Chilean Journal of Agricultural Research* 74 (4): 404–12.

Price OF, Williamson GJ, Henderson SB, Johnston F, Bowman DMJS (2012) The Relationship between Particulate Pollution Levels in Australian Cities, Meteorology, and Landscape Fire Activity Detected from MODIS Hotspots.

Pugnaire, F. (2006). La crisis global de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 15 (2), 1-2.

Rocca, M. E., Brown, P. M., MacDonald, L. H., & Carrico, C. M. (2014). Climate change impacts on fire regimes and key ecosystem services in Rocky Mountain forests. *Forest Ecology and Management*, 327, 290-305.

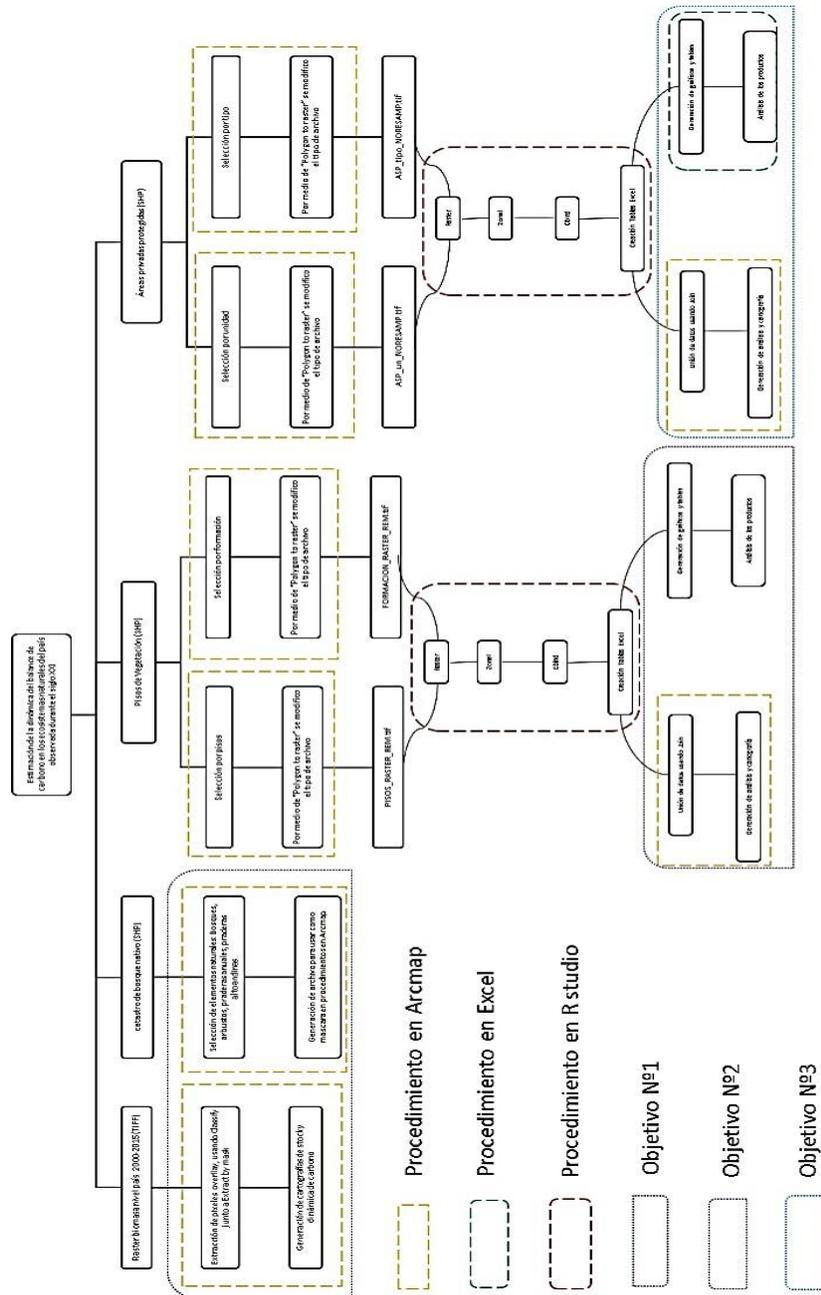
Rojo Martínez, G., & Jasso Mata, J., & Velásquez Martínez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de co2 ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9 (1), 57-67.

- Rubio, M., Lissi, E., Gramsch, E., & Garreaud, R. (2015). Effect of nearby forest fires on ground level ozone concentrations in Santiago, Chile. *Atmosphere*, 6(12), 1926-1938.
- Santiago, E. (2007). Biodiversidad, cultura y territorio. *Territorios*, (16-17), 127-148.
- Smith-Ramirez C, Teillier S, Jiménez JE, Barahona-Segovia R, Parra L, Vera A, Jerez V, (2019). Plantas y animales endémicos de la Cordillera de la Costa de Chile. 393–416.
- Stevens-Rumann, C. S., Kemp, K. B., Higuera, P. E., Harvey, B. J., Rother, M. T., Donato, D. C., ... & Veblen, T. T. (2018). Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, 21(2), 243-252.
- Tansley, A. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3), 284-307.
- Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2012). Carbon content of tree tissues: a synthesis. *Forests*, 3(2), 332-352.
- Tittensor, D., Walpole, M., Hill, S., Boyce, D., Britten, G., Burgess, N., Butchart, S., Leadley, P., Regan, E., Alkemade, R., Baumung, R., Bellard, C., Bouwman, L., Bowles-Newark, N., Chenery, A., Cheung, W., Christensen, V., Cooper, D., Crowther, A., Dixon, M., Galli, A., Gaveau, V., Gregory, R., Gutierrez, N., Hirsch, T., Höft, R., Januchowski-Hartley, S., Karmann, M., Krug, C., Leverington, F., Loh, J., Kutsch, R., Malsch, K., Marques, A., Morgan, D., Mumby, P., Newbold, T., Noonan-Mooney, K., Pagad, S., Parks, B., Pereira, H., Robertson, T., Rondinini, C., Santini, L., Scharlemann, J., Schindler, S., Sumaila, R., Teh, L., Van Kolck, J., Visconti, P., Ye, Y. (2014). A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science*, 241-244.
- Tulloch, A., Sutcliffe, P., Naujokaitis-Lewis, I., Tingley, R., Brotons, L., Ferraz, K., Possingham, H., Guisan, A., Rhodes, J. (2016). Conservation planners tend to ignore improved accuracy of modelled species distributions to focus on multiple threats and ecological processes. *Biological Conservation*, 157-171.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 306-314.
- Úbeda, X., & Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152-161.
- Varea, A. (2004). Iniciativas para conservar la biodiversidad. *Universitas, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, (4), 7-43.

Zhu, J., Jiang, L., Zhang, Y. (2016). Relationships between functional diversity and aboveground biomass production in the Northern Tibetan alpine grasslands. *Scientific Reports*, 1-8.

9. Anexos

Anexo N°1: Pasos metodológicos seguidos en el documento



Anexo N°2: Variaciones de carbono resumidos por formación vegetacional

Formación	Balance anual Gg C / Y	Balance neto (Tg C)
Bosque caducifolio	-17439,74	-261,60
Bosque esclerófilo	-1445,30	-21,68
Bosque espinoso	-343,91	-5,16
Bosque laurifolio	-653,11	-9,80
Bosque resinoso	210,12	3,15
Bosque siempreverde	-4164,90	-62,47
Desierto absoluto	10,95	0,16
Estepas y pastizales	-532,02	-7,98
Herbazal de altitud	-804,59	-12,07
Matorral arborescente	-1276,94	-19,15
Matorral bajo de altitud	-2806,06	-42,09
Matorral bajo desértico	-35,74	-0,54
Matorral caducifolio	-2562,55	-38,44
Matorral desértico	-171,38	-2,57
Matorral espinoso	-3,41	-0,05
Matorral siempreverde	-326,28	-4,89
Turbera	-21777,59	-326,66

Anexo N°3: Variaciones de carbono resumidos por piso vegetacional

ID	Balance Anual (Gg C / y)	Balance Neto (Tg C)
1	-4,10	-0,06
2	15,05	0,23
3	5,44	0,08
4	-0,11	0,00
5	-23,14	-0,35
6	-13,25	-0,20
7	-3,53	-0,05
8	-1,49	-0,02
9	-26,53	-0,40
10	-27,80	-0,42
11	-12,25	-0,18
12	-18,73	-0,28
13	-5,27	-0,08

14	-4,85	-0,07
15	13,30	0,20
16	0,73	0,01
17	0,88	0,01
18	-144,80	-2,17
19	30,19	0,45
20	56,07	0,84
21	3,77	0,06
22	23,88	0,36
23	10,41	0,16
24	67,10	1,01
25	-30,27	-0,45
26	-106,87	-1,60
27	6,89	0,10
28	-10,31	-0,15
29	-0,62	-0,01
30	0,02	0,00
31	0,81	0,01
32	-1,81	-0,03
33	4,26	0,06
34	-56,71	-0,85
35	-289,88	-4,35
36	0,83	0,01
37	98,46	1,48
38	-59,36	-0,89
39	-101,82	-1,53
40	-59,06	-0,89
41	-111,23	-1,67
42	-452,89	-6,79
43	-292,71	-4,39
44	-220,21	-3,30
45	-148,05	-2,22
46	-27,98	-0,42
47	-876,04	-13,14
48	-483,99	-7,26
49	-58,00	-0,87
50	-46,69	-0,70
51	-38,58	-0,58
52	-319,14	-4,79
53	-788,64	-11,83

54	-2082,04	-31,23
55	-454,85	-6,82
56	-232,70	-3,49
57	-2,14	-0,03
58	-926,20	-13,89
59	-271,05	-4,07
60	-39,67	-0,60
61	-300,74	-4,51
62	-619,33	-9,29
63	-4534,18	-68,01
64	-515,05	-7,73
65	-3549,64	-53,24
66	-204,11	-3,06
67	-1068,97	-16,03
68	-476,63	-7,15
69	-2085,98	-31,29
70	-703,20	-10,55
71	-673,04	-10,10
72	-153,87	-2,31
73	148,03	2,22
74	-647,27	-9,71
75	-50,15	-0,75
76	-140,93	-2,11
77	19,35	0,29
78	-15,00	-0,23
79	131,84	1,98
80	-391,04	-5,87
81	289,66	4,34
82	366,40	5,50
83	-64,46	-0,97
84	-6,65	-0,10
85	630,05	9,45
86	-704,27	-10,56
87	-51,91	-0,78
88	-1487,46	-22,31
89	-1026,41	-15,40
90	-740,95	-11,11
91	-720,41	-10,81
92	-0,17	0,00
93	-326,28	-4,89

94	-14736,14	-221,04
95	-1915,74	-28,74
96	-2139,75	-32,10
97	-2985,95	-44,79
98	-31,20	-0,47
99	-7,03	-0,11
100	-4,95	-0,07
101	-31,88	-0,48
102	3,39	0,05
103	-1,52	-0,02
104	1,52	0,02
105	-23,91	-0,36
106	-18,34	-0,28
107	-3,22	-0,05
108	-9,90	-0,15
109	-211,88	-3,18
110	-69,60	-1,04
111	-3,23	-0,05
112	-172,84	-2,59
113	-62,88	-0,94
114	-103,59	-1,55
115	-4,64	-0,07
116	1,15	0,02
117	-2053,33	-30,80
118	1,56	0,02
119	44,61	0,67
120	16,35	0,25
121	-499,54	-7,49
122	-366,04	-5,49
123	-258,77	-3,88
124	9,31	0,14
125	-100,73	-1,51
126	-165,04	-2,48
127	-16,80	-0,25

Anexo N°4: Nombres de ID de pisos vegetacionales

ID	PISO
1	Desierto tropical costero con vegetacion escasa
2	Desierto tropical interior con vegetacinn escasa
3	Matorral desértico tropical interior de <i>Atriplex atacamensis</i> y <i>Tessaria absinthioides</i>
4	Matorral desértico tropical interior <i>Malesherbia auristipulata</i> y <i>Tarasa rahmeri</i>
5	Matorral desértico tropical costero de <i>Nolana adansonii</i> y <i>N. lycioides</i>
6	Matorral desértico tropical costero de <i>Ephedra breana</i> y <i>Eulychnia iquiquensis</i>
7	Matorral desértico mediterráneo costero <i>Copiapoa boliviana</i> y <i>Heliotropium pycnophyllum</i>
8	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium eremogenum</i> y <i>Eulychnia morromorenoensis</i>
9	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Gypothamnium pinifolium</i> y <i>Heliotropium pycnophyllum</i>
10	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Euphorbia lactiflua</i> y <i>Eulychnia iquiquensis</i>
11	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Euphorbia lactiflua</i> y <i>Eulychnia saint-pieana</i>
12	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Oxyphyllum ulicinum</i> y <i>Gymnophyton foliosum</i>
13	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium floridum</i> y <i>Atriplex clivicola</i>
14	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis gigantea</i> y <i>Eulychnia breviflora</i>
15	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> y <i>Atriplex deserticola</i>
16	Matorral desértico tropical interior de <i>Huidobria chilensis</i> y <i>Nolana leptophylla</i>
17	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis gigantea</i> y <i>Heliotropium stenophyllum</i>
18	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea</i> y <i>Bulnesia chilensis</i>
19	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Heliotropium stenophyllum</i> y <i>Flourensia thurifera</i>
20	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Flourensia thurifera</i> y <i>Colliguaja odorifera</i>
21	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Bahia ambrosioides</i> y <i>Puya chilensis</i>
22	Matorral bajo desértico tropical interior de <i>Adesmia atacamensis</i> y <i>Cistanthe salsoloides</i>
23	Matorral bajo desértico tropical andino de <i>Atriplex imbricata</i> y <i>Acantholippia deserticola</i>
24	Matorral bajo desértico tropical interior de <i>Nolana leptophylla</i> y <i>Cistanthe salsoloides</i>
25	Matorral bajo desértico tropical-mediterráneo andino de <i>Atriplex imbricata</i>
26	Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> y <i>Haplopappus baylahuen</i>
27	Matorral espinoso mediterráneo interior de <i>Trevoa quinquinervia</i> y <i>Colliguaja odorifera</i>
28	Matorral espinoso mediterráneo interior de <i>Puya coerulea</i> y <i>Colliguaja odorifera</i>
29	Bosque espinoso tropical interior de <i>Prosopis tamarugo</i> y <i>Tessaria absinthioides</i>
30	Bosque espinoso tropical interior de <i>Geoffroea decorticans</i> y <i>Prosopis alba</i>
31	Bosque espinoso tropical andino de <i>Browningia candelaris</i> y <i>Corryocactus brevistylus</i>
32	Bosque espinoso mediterráneo interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Prosopis chilensis</i>
33	Bosque espinoso de mediterráneo andino <i>Acacia caven</i> y <i>Baccharis paniculata</i>
34	Bosque espinoso mediterráneo costero de <i>Acacia caven</i> y <i>Maytenus boaria</i>
35	Bosque espinoso mediterráneo interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Lithrea caustica</i>

36	Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo costero de <i>Peumus boldus</i> y <i>Schinus latifolius</i>
37	Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo interior <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Porlieria chilensi</i>
38	Bosque esclerófilo mediterráneo andino de <i>Kageneckia angustifolia</i> y <i>Guindilia trinervis</i>
39	Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Cryptocarya alba</i> y <i>Peumus boldus</i>
40	Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Cryptocarya alba</i>
41	Bosque esclerófilo mediterráneo andino de <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Lithrea caustica</i>
42	Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Azara integrifolia</i>
43	Bosque esclerófilo mediterráneo interior de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Peumus boldus</i>
44	Bosque esclerófilo mediterráneo andino de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Lomatia hirsuta</i>
45	Bosque esclerófilo mediterráneo interior de <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Fabiana imbricata</i>
46	Bosque caducifolio mediterráneo costero de <i>Nothofagus macrocarpa</i> y <i>Ribes punctatum</i>
47	Bosque caducifolio mediterráneo interior de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Cryptocarya alba</i>
48	Bosque caducifolio mediterráneo andino de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Austrocedrus chilensis</i>
49	Bosque caducifolio mediterráneo costero de <i>Nothofagus glauca</i> y <i>Azara petiolaris</i>
50	Bosque caducifolio mediterráneo costero de <i>Nothofagus glauca</i> y <i>Persea lingue</i>
51	Bosque caducifolio mediterráneo andino de <i>Nothofagus glauca</i> y <i>N. obliqua</i>
52	Bosque caducifolio mediterráneo-templado costero de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Gomortega keule</i>
53	Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Persea lingue</i>
54	Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>
55	Bosque mixto templado costero de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>N. obliqua</i>
56	Bosque caducifolio templado costero de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Persea lingue</i>
57	Bosque caducifolio mediterráneo-templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>N. obliqua</i>
58	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Dasyphyllum diacanthoides</i>
59	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>N. dombeyi</i>
60	Bosque caducifolio mediterráneo-templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>N. obliqua</i>
61	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Araucaria araucana</i>
62	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Drimys andina</i>
63	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Berberis ilicifolia</i>
64	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Azara alpina</i>
65	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Ribes cucullatum</i>
66	Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Chiliotrichum diffusum</i>
67	Bosque caducifolio templado-antiboreal andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Maytenus disticha</i>
68	Matorral caducifolio templado andino de <i>Nothofagus antarctica</i>
69	Matorral caducifolio templado andino de <i>Nothofagus antarctica</i> y <i>Empetrum rubrum</i>
70	Matorral arborescente caducifolio templado de <i>Nothofagus antarctica</i> y <i>Berberis microphylla</i>
71	Matorral arborescente caducifolio templado-antiboreal andino de <i>Nothofagus antarctica</i> y <i>Chiliot</i>
72	Bosque laurifolio templado costero de <i>Aextoxicon punctatum</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>
73	Bosque laurifolio templado costero de <i>Weinmannia trichosperma</i> y <i>Laureliopsis philippiana</i>
74	Bosque laurifolio templado interior de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Eucryphia cordifolia</i>
75	Bosque resinoso templado costero de <i>Araucaria araucana</i>

76	Bosque resinoso templado andino de <i>Araucaria araucana</i> y <i>Nothofagus dombeyi</i>
77	Bosque resinoso templado andino de <i>Araucaria araucana</i> y <i>Festuca scabriuscula</i>
78	Bosque resinoso templado andino de <i>Austrocedrus chilensis</i> y <i>Nothofagus dombeyi</i>
79	Bosque resinoso templado costero de <i>Fitzroya cupressoides</i>
80	Bosque resinoso templado andino de <i>Fitzroya cupressoides</i>
81	Bosque resinoso templado costero de <i>Pilgerodendron uvifera</i> y <i>Tepualia stipularis</i>
82	Bosque resinoso templado costero de <i>Pilgerodendron uvifera</i> y <i>Astelia pumila</i>
83	Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Gaultheria phillyreifolia</i>
84	Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Saxegothea conspicua</i>
85	Bosque siempreverde templado interior de <i>Nothofagus nitida</i> y <i>Podocarpus nubigena</i>
86	Bosque siempreverde templado interior de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Desfontainia spinosa</i>
87	Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Laureliopsis philippiana</i>
88	Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Chusquea macrostachya</i>
89	Bosque siempreverde mixto templado andino de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Berberis serrato-dentata</i>
90	Bosque mixto templado-antiboreal andino de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Nothofagus pumilio</i>
91	Bosque siempreverde templado costero de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Embothrium coccineum</i>
92	Bosque siempreverde templado costero de <i>Nothofagus betuloides</i> y <i>Drimys winteri</i>
93	Matorral siempreverde templado costero de <i>Pilgerodendron uvifera</i> y <i>Nothofagus nitida</i>
94	Turbera templada costera de <i>Donatia fascicularis</i> y <i>Oreobolus obtusangulus</i>
95	Turbera antiboreal costera de <i>Astelia pumila</i> y <i>Donatia fascicularis</i>
96	Turbera antiboreal costera de <i>Bolax bovei</i> y <i>Phyllachne uliginosa</i>
97	Turbera templada-antiboreal interior de <i>Sphagnum magellanicum</i> y <i>Schoenus antarcticus</i>
98	Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana ramulosa</i> y <i>Diplostephium meyenii</i>
99	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Azorella compacta</i>
100	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Festuca orthophylla</i>
101	Matorral bajo tropical andino de <i>Parastrephia lepidophylla</i> y <i>P. quadrangularis</i>
102	Matorral bajo tropical andino de <i>Azorella compacta</i> y <i>Pycnophyllum molle</i>
103	Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana denudata</i> y <i>Chuquiraga atacamensis</i>
104	Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana squamata</i> y <i>Festuca chrysophylla</i>
105	Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana bryoides</i> y <i>Parastrephia quadrangularis</i>
106	Matorral bajo tropical andino de <i>Mulinum crassifolium</i> y <i>Urbania pappigera</i>
107	Matorral bajo tropical andino de <i>Artemisia copa</i> y <i>Stipa frigida</i>
108	Matorral bajo tropical andino de <i>Adesmia frigida</i> y <i>Stipa frigida</i>
109	Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix</i> y <i>Ephedra breana</i>
110	Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterranea</i> y <i>Adesmia echinus</i>
111	Matorral bajo mediterráneo costero de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Mulinum spinosum</i>
112	Matorral bajo mediterráneo andino de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Nardophyllum lanatum</i>
113	Matorral bajo mediterráneo andino de <i>Laretia acaulis</i> y <i>Berberis empetrifolia</i>
114	Matorral bajo mediterráneo andino de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Discaria articulata</i>
115	Matorral bajo templado andino de <i>Discaria chacaye</i> y <i>Berberis empetrifolia</i>

116	Matorral bajo templado andino de <i>Adesmia longipes</i> y <i>Senecio bipontini</i>
117	Matorral bajo templado-antiboreal andino de <i>Bolax gummifera</i> y <i>Azorella selago</i>
118	Herbazal tropical andino de <i>Chaetanthera sphaeroidalis</i>
119	Herbazal mediterráneo de <i>Nastanthus spathulatus</i> y <i>Menonvillea spathulata</i>
120	Herbazal mediterráneo andino de <i>O. adenophylla</i> y <i>Pozoa coriacea</i>
121	Herbazal templado andino de <i>Nassauvia dentata</i> y <i>Senecio portalesianus</i>
122	Herbazal antiboreal andino de <i>Nassauvia pygmaea</i> y <i>N. lagascae</i>
123	Estepa mediterránea-templada de <i>Festuca pallens</i> y <i>Mulinum spinosum</i>
124	Estepa mediterránea-templada oriental de <i>Festuca gracillima</i>
125	Estepa templada oriental de <i>Festuca gracillima</i> y <i>Empetrum rubrum</i>
126	Estepa templada oriental de <i>Festuca gracillima</i> y <i>Chilotrimum diffusum</i>
127	Estepa templada oriental de <i>Festuca gracillima</i> y <i>Mulinum spinosum</i>

Anexo N°5: Variaciones de carbono resumidos por tipo de área protegida

ID	Tipo	Balance anual	Balance neto
1	Áreas Protegidas Privadas	-0.44	-6.65
2	Monumento Natural	-0.01	-0.11
3	Parques Nacionales	3.49	52.29
4	Reserva Nacional	-1.60	-24.04

Anexo N°6: Variaciones de carbono resumidos por unidad de área protegida

ID	NOMBRE	Balance anual	Balance neto
1	Cerro Ñielol	-0.00003	0.000
2	Contulmo	-0.00020	-0.003
3	La Portada	0.00000	0.000
4	Islotes de Puñihuil	0.00000	0.000
5	Lahuen Nadi	-0.00012	-0.002
6	Quebrada Cardones	0.00000	0.000
7	Cinco Hermanas	-0.00002	0.000
8	Pichasca	0.00000	0.000
9	Salar De Surire	0.00006	0.001
10	Dos Lagunas	-0.00127	-0.020
12	El Morado	-0.00140	-0.022
13	Cueva Del Milodón	-0.00027	-0.004
14	Laguna de los Cisnes	-0.00002	0.000
16	Paposo Norte	-0.00125	-0.020
17	Alberto De Agostini	1.89219	30.275
18	Alerce Andino	-0.07108	-1.137
19	Alerce Costero	0.00193	0.031

21	Bernardo O'Higgins	1.62795	26.047
22	Bosque Fray Jorge	-0.00077	-0.012
23	Cabo de Hornos	-0.00584	-0.093
24	Chiloé	0.00370	0.059
25	Conguillio	-0.08270	-1.323
26	Corcovado	0.05412	0.866
27	Hornopiren	0.00123	0.020
28	Huerquehue	-0.02082	-0.333
29	Isla Guamblin	0.00336	0.054
30	Isla Magdalena	0.00403	0.064
31	La Campana	-0.00178	-0.029
32	Laguna del Laja	-0.01529	-0.245
33	Laguna San Rafael	-0.70729	-11.317
34	Lauca	-0.01199	-0.192
35	Llanos del Challe	-0.00624	-0.100
36	Llullaillaco	-0.00204	-0.033
37	Morro Moreno	-0.00124	-0.020
38	Nahuelbuta	-0.01316	-0.211
39	Nevado Tres Cruces	-0.00002	0.000
40	Pali Aike	-0.00030	-0.005
41	Palmas de Cocalan	-0.00095	-0.015
42	Pan De Azucar	-0.00247	-0.039
43	Puyehue	0.00392	0.063
44	Queulat	0.14688	2.350
45	Radal Siete Tazas	-0.00419	-0.067
47	Salar de Huasco	-0.00037	-0.006
48	Tolhuaca	0.01196	0.191
49	Torres del Paine	-0.13755	-2.201
50	Vicente Perez Rosales	-0.27970	-4.475
51	Villarrica	-0.16505	-2.641
52	Volcan Isluga	-0.01294	-0.207
53	Centro Cantalao	-0.00018	-0.003
54	Parque El Boldo	-0.00001	0.000
55	Punahue	-0.00083	-0.013
56	Yecue	-0.00013	-0.002
57	La Trafa	0.00002	0.000
58	Malihue	0.00002	0.000
59	Mavidahue	-0.00050	-0.008
60	Agua del Obispo	-0.00002	0.000
61	El Desague	0.00006	0.001
62	La Invernada	-0.00069	-0.011
63	Fundo Pichoy	0.00001	0.000
64	Ayacara	-0.00644	-0.103

65	Fundo Chollinco	-0.00052	-0.008
66	Termas de Sotomó	-0.00073	-0.012
67	Parque Jorge Alessandri	0.00000	0.000
68	Parque Pedro del Río Zañartu	-0.00054	-0.009
69	Parque Cumbres de Namuncahue	-0.00002	0.000
70	Parque Namuncai S.A.	-0.00043	-0.007
71	Parque Gilberto Cumilef Quintul	0.00001	0.000
72	Parque Manquemapu	0.00010	0.002
73	Parque Pichi Mallay	0.00000	0.000
74	Llancahue	0.00096	0.015
75	Cliffs at Patagonia	-0.00131	-0.021
76	Parque Pedro Loy Cumilef Huaiquian	-0.00006	-0.001
77	Kawelluco	0.00012	0.002
78	Puringue Rico	-0.00004	-0.001
79	La Baita Conguillio	-0.00008	-0.001
80	Punta Curiñanco (codeff)	-0.00001	0.000
81	Altos de Cutipay	0.00001	0.000
82	Santuario Laguna Reloca Forestal	-0.00017	-0.003
83	Jardín Botánico Chagual	0.00000	0.000
84	Reserva Natural Privada Huascoaltinos	-0.01948	-0.312
85	San Ignacio del Huinay	-0.01818	-0.291
86	Santuario de la Naturaleza Las Torcazas de Pirque	-0.00109	-0.017
87	Santuario Laguna Conchalí Minera Los Pelambres	0.00000	0.000
88	Yendegaia	0.08235	1.318
89	Propietarios Fundo Las Mercedes, Altos de Chicauma	-0.00115	-0.018
90	Pumalin	-0.12035	-1.926
91	Cascada Las Hünimas	-0.00104	-0.017
92	Huemules de Niblinto	-0.00057	-0.009
94	Bahia Exploradores	-0.00114	-0.018
95	Parque Andino El Juncal (Sitio Ramsar)	-0.01070	-0.171
96	Parque Katalapi	0.00000	0.000
97	Parque Tantauco	0.03125	0.500

98	Parque del Estuario 2 (2)	-0.00370	-0.059
99	Reserva Natural Protegida Altos de Cantillana	-0.00702	-0.112
100	Melimoyu	-0.00210	-0.034
101	Parque Patagonia (Estancia Valle Chacabuco)	-0.08812	-1.410
102	Morro Gonzalo	-0.00001	0.000
103	Palo Muerto	-0.00002	0.000
104	Parque Tepuhueico	0.01199	0.192
105	Reserva Ecologica Huilo Huilo	-0.07339	-1.174
106	Red Conservacionista de Contulmo	-0.00132	-0.021
108	Tolquien	-0.00007	-0.001
109	Veguillas	0.00018	0.003
110	Verde Paz	-0.00032	-0.005
111	Sin Nombre (9)	0.00003	0.000
112	Sin Nombre (7)	-0.00006	-0.001
113	Sin Nombre (8)	-0.00035	-0.006
114	Sin Nombre (6)	-0.00027	-0.004
115	Sin Nombre (26)	0.00000	0.000
116	Sin Nombre (3)	-0.00012	-0.002
117	Sin Nombre (4)	0.00007	0.001
118	Sin Nombre (5)	-0.00045	-0.007
119	Sin Nombre (25)	-0.00001	0.000
120	Sin Nombre (24)	0.00012	0.002
121	Sin Nombre (23)	0.00000	0.000
122	Sin Nombre (19)	-0.00025	-0.004
123	Sin Nombre (2)	0.00001	0.000
124	Sin Nombre (21)	0.00000	0.000
125	Sin Nombre (22)	0.00005	0.001
126	Sin Nombre (17)	0.00004	0.001
127	Sin Nombre (18)	-0.00017	-0.003
128	Sin Nombre (12)	0.00003	0.000
129	Sin Nombre (14)	-0.00136	-0.022
130	Sin Nombre (15)	-0.00045	-0.007
131	Sin Nombre (16)	-0.00015	-0.002
132	Sin Nombre (11)	-0.00029	-0.005
133	Sector El Alamo	-0.00023	-0.004
135	Senderos del Bosque	0.00009	0.001
136	Sin Nombre (20)	-0.00010	-0.002
137	Sin Nombre (1)	-0.00045	-0.007

138	Sin Nombre (10)	-0.00006	-0.001
139	Santa Anita / El Mirador	-0.00005	-0.001
140	Santa Elena/El Fin	-0.00038	-0.006
141	Santa Elvira	-0.00002	0.000
142	Santa Juana	-0.00010	-0.002
143	Santa Lucrecia	0.00025	0.004
144	Santa Marta	-0.00046	-0.007
145	Santuario El Cañi	-0.00063	-0.010
146	San Francisco	-0.00024	-0.004
147	San Isidro	-0.00033	-0.005
148	San Juan Capellania	-0.00008	-0.001
149	San Manuel	-0.00020	-0.003
150	San Martin	0.00033	0.005
151	San Pablo de Tregua	-0.00293	-0.047
152	San Pedro	-0.00007	-0.001
153	San Ramon	0.00019	0.003
154	Santa Ana Los Ulmos	-0.00013	-0.002
155	Rucapihue	-0.00016	-0.003
156	Reserva Ecologica Oasis de la Campana	-0.00010	-0.002
157	Reserva Ecologica Puquelinhue	-0.00031	-0.005
158	Reserva Rio Claro	-0.00071	-0.011
159	Reserva San Jose de Pataguas	-0.00007	-0.001
160	Rin- El Molino	-0.00007	-0.001
161	Rio Esperanza	-0.00306	-0.049
162	Rio Pulpito	0.00005	0.001
163	Rodeo Grande	-0.00001	0.000
164	Relin	-0.00016	-0.003
165	Purretrun Pucatrihue (2)	0.00001	0.000
166	Purretrun Pucatrihue	0.00001	0.000
167	Purretrun Pucatrihue (3)	-0.00001	0.000
168	Quebrada Honda 2	-0.00061	-0.010
169	Quilacahuin	-0.00007	-0.001
170	Rayen (antiguo Los Copihues)	-0.00041	-0.007
172	Polincay	-0.00010	-0.002
173	Pozas de Robalo	-0.00003	0.000
174	Predio Chiriuco	-0.00126	-0.020
175	Predio Pugintrin	-0.00014	-0.002
176	Providencia Lote C	0.00008	0.001
177	Pucatrihue	-0.00105	-0.017
178	Puerto Verde	-0.00031	-0.005

179	Punta Baja	-0.00020	-0.003
180	Punta Curiñanco	0.00001	0.000
181	Puquintrin	0.00004	0.001
182	Piruco (Chucauco)	0.00004	0.001
183	Pindaco	-0.00017	-0.003
184	Pingueral	-0.00004	-0.001
185	Pino Huacho	-0.00190	-0.030
186	Pirre - Mapu	-0.00076	-0.012
187	Peruco	-0.00285	-0.046
188	Pichares Alto	-0.00684	-0.109
189	Pilmaico-Huentelelfu	-0.00005	-0.001
190	Paso del Leon	-0.00001	0.000
191	Parcela Pelarco s/n	-0.00101	-0.016
192	Parque Futangue	-0.01062	-0.170
193	Parque Huequen	0.00000	0.000
194	Parque Natural Isla Huapi	-0.00001	0.000
195	Parque Paradiso	0.00187	0.030
196	Parque Tumbes	-0.00012	-0.002
197	Parcela N° 66 (Sector seco)	-0.00001	0.000
198	Parcela N 9	-0.00015	-0.002
199	Parcela N16 Isla Mocha	-0.00001	0.000
200	Parcela Lipingue	-0.00021	-0.003
201	Parcela N 4	-0.00010	-0.002
202	Parcela dos	-0.00005	-0.001
203	Parcela 8 Lote 2 Bdo.	-0.00025	-0.004
204	Parcela Agrosol	0.00030	0.005
205	Parcela Altamira (Isla del Rey)	0.00000	0.000
206	Parcela Castro	0.00008	0.001
207	Parcela 59	-0.00001	0.000
208	Parcela 58	-0.00003	0.000
209	Parcela 3	-0.00268	-0.043
211	Parcela 326 B Lote 1 Los Montes	-0.00009	-0.001
212	Parcela 4 Bdo. O'Higgins	0.00006	0.001
213	Parcela 12 Chaquihual	-0.00018	-0.003
214	Parque Ahuenco	-0.00027	-0.004
215	Parcela 2 Fundo Providencia	0.00000	0.000
216	Parcela 21 y 22	-0.00042	-0.007
217	Pampa Bayo	0.00090	0.014
218	Pampa Bonita	0.00007	0.001

219	Parcela	-0.00040	-0.006
220	Parcela 1 - Llahualco	-0.00066	-0.011
221	Palo Blanco	0.00004	0.001
222	Manquemapu	-0.00002	0.000
223	Mañihuales	0.00008	0.001
224	Milagro/Benigro	0.00011	0.002
225	Miradero	-0.00036	-0.006
226	Ostiones	-0.00004	-0.001
227	Paillahue	0.00000	0.000
228	Manquelaf (2)	0.00017	0.003
229	Manatiales	-0.00009	-0.001
230	Manquelaf	0.00012	0.002
231	Lote 1 a 2 del Fundo Comuy	-0.00002	0.000
233	Lote 3 a 4 de Fundo Comuy	-0.00034	-0.005
234	Lote 4-A Lote 4- C	0.00002	0.000
235	Lote 4B	0.00002	0.000
236	Lote B, Fundo Cahuil.	-0.00057	-0.009
237	Lote Invernaderos Mantagua	-0.00002	0.000
238	Maicolpi	-0.00008	-0.001
239	Mallin Colorado	-0.00039	-0.006
240	Malpaso	-0.00024	-0.004
241	Los Zorros (El Guancho)	-0.00025	-0.004
242	Los Quillayes N2	-0.00021	-0.003
243	Los Rabanos	-0.00066	-0.011
245	Los Maños	-0.00030	-0.005
247	Los Esteros	0.00001	0.000
248	Las Vegas de Lumaco	-0.00006	-0.001
249	Las Vertientes	-0.00012	-0.002
250	Las Violetas	0.00002	0.000
251	Los Avellanos	-0.00098	-0.016
253	Los Canelos	-0.00008	-0.001
254	La Maravilla	-0.00045	-0.007
255	La Palma	-0.00001	0.000
256	La Rana	0.00004	0.001
257	La Sendera de Chepu	0.00002	0.000
258	La Vega	-0.00016	-0.003
259	La Ximenita	0.00166	0.027
260	Lago Las Rocas	-0.00012	-0.002
261	Lago Tamango	0.00000	0.000
263	Las Juntas	-0.00013	-0.002

264	Las Tepas	-0.00008	-0.001
266	La Confluencia	0.00000	0.000
267	La Granja Darwin	-0.00346	-0.055
268	La Luna	-0.00026	-0.004
269	Hueyelhue	-0.00115	-0.018
270	Hueyelyue (2)	-0.00318	-0.051
271	Huichahue	0.00000	0.000
272	Hijuela 6	-0.00011	-0.002
273	Huiro	0.00574	0.092
274	Isla Chaullin (Helvecia)	0.00006	0.001
275	Juventud con una Mision	0.00009	0.001
276	Karukinka	-0.38257	-6.121
277	Kimey Ruka	0.00001	0.000
278	Kukeñe	-0.00015	-0.002
279	Hualleria	-0.00007	-0.001
280	Hijuela El Rincon	-0.00073	-0.012
281	Hijuela N 1 Pilolcura	-0.00006	-0.001
282	Hijuela N2 Pilolcura	0.00000	0.000
283	Hijuela N8	0.00001	0.000
284	Fundo Rio Hualaihue, Lote 4	0.00029	0.005
285	Fundo Romeral	-0.00009	-0.001
286	Fundo Trufun	0.00017	0.003
287	Fundo Valle Esperanza	-0.00020	-0.003
288	Granja Los Almendros	-0.00001	0.000
289	Guay Guay	0.00009	0.001
290	Hacienda Lipangue	-0.00002	0.000
291	Hacienda Trinidad	-0.00318	-0.051
292	Hijuela 27-28	0.00002	0.000
293	Hijuela 7	-0.00005	-0.001
294	Hijuela B Mar y la Ester	-0.00138	-0.022
295	Fundo la Ventana	-0.00003	0.000
296	Fundo Las Lomas, Rio Esperanza	-0.00052	-0.008
297	Fundo Lenca	-0.00039	-0.006
298	Fundo Los Coihues	-0.00091	-0.015
299	Fundo Los Guindos	-0.00022	-0.003
300	Fundo Pocihuen	0.00118	0.019
301	Fundo Ponhuipa	-0.00011	-0.002
302	Fundo Rayenlemu y Fundo Huemul Alto	-0.01126	-0.180
303	Fundo Rio Backer	-0.00022	-0.003
304	Estancilla	0.00003	0.001

305	Etnobotanico Omora	-0.02002	-0.320
306	Flor del Lago	-0.00219	-0.035
307	Forellen Hof	-0.00003	0.000
308	Fundo Aucha	0.00001	0.000
309	Fundo Colo-Colo	-0.00017	-0.003
310	Fundo Desague	-0.00153	-0.024
311	Fundo Huatrapulli	0.00003	0.000
312	Fundo La Esperanza	-0.00147	-0.023
313	Fundo La Sombra	-0.00021	-0.003
314	Esperanza	-0.00005	-0.001
315	Estacion Biologica Senda Darwin	-0.00014	-0.002
316	El Morrito	0.00004	0.001
317	El Peñasco	-0.00431	-0.069
318	El Perejil	0.00005	0.001
319	El Perro	-0.00002	0.000
320	El Potrero - Pachagua	-0.00018	-0.003
321	El Queule	-0.00065	-0.010
322	El Roble	-0.00007	-0.001
323	El Saltillo	-0.00010	-0.002
324	El Campesino	0.00009	0.001
325	El Chucao, antes El Curicano	-0.00002	0.000
326	El Estero	-0.00023	-0.004
327	El Faldeo	-0.00053	-0.009
328	El Macal	-0.00011	-0.002
330	Comunidad Rukahuin	0.00010	0.002
331	Comuy	0.00000	0.000
332	Coñico	-0.00066	-0.011
333	Corral del Agua	-0.00006	-0.001
334	Cuchi	-0.00055	-0.009
335	Cuimilahue	-0.00033	-0.005
336	Cuinco	-0.00010	-0.002
337	Dollinco-Los Robles	-0.00001	0.000
338	El Afligido	-0.00240	-0.038
339	El Asiento	-0.00007	-0.001
340	El Boldo Negro	-0.00005	-0.001
342	Chosme	-0.00033	-0.005
343	Cochinco	0.00000	0.000
344	Humedales de Chepu (Codeff)	-0.00011	-0.002
345	Collihuil	-0.00007	-0.001
347	Comunidad Indigena Quilque	-0.00001	0.000

348	Campanarias	-0.00034	-0.005
349	Campo Escuela Callejones	0.00000	0.000
350	Campo Grande	0.00032	0.005
351	Carilelquen	0.00010	0.002
352	Casas de Peuco y Picarquin	-0.00208	-0.033
353	Central de Trabajo Rio Colorado	0.00000	0.000
354	Centro Experimental Forestal	-0.00001	0.000
355	Cerro La Laguna	-0.00003	0.000
356	Cerro la Plata	0.00000	0.000
357	Chacra Domingo	-0.00001	0.000
358	Biodiversidad Caunahue	-0.00103	-0.016
360	Bosque siempre verde y bosque	-0.00003	0.000
361	Cabo Leon	-0.02210	-0.354
362	Calabozo 1	-0.00002	0.000
363	Barrancones	-0.00033	-0.005
364	Bellavista	-0.00009	-0.001
365	Bahía Catalina	-0.00005	-0.001
366	Aguantao, Lugar Escondido	0.00001	0.000
367	Añihuerraqui - Pichitrancura	-0.00043	-0.007
369	Area Conservacion del Huemul	-0.00008	-0.001
370	Parque Oncol	0.00045	0.007
372	Abeucapi (Aleucapi)	-0.00026	-0.004
373	Agricola Santa Rosa de Lavaderos	-0.00009	-0.001
374	Agua del León	-0.00001	0.000
375	Reserva Costera Valdiviana	-0.03657	-0.585
376	Fundo San Julian	-0.00120	-0.019
377	Bellotos El Melado	-0.00091	-0.015
378	Los Queules	-0.00003	0.000
379	Ralco	-0.01928	-0.309
380	Isla Mocha	-0.00126	-0.020
381	Llanquihue	-0.05112	-0.818
382	Las Guaitecas	0.00926	0.148
383	Altos de Pemehue	-0.03599	-0.576
384	Nongu @n	-0.01281	-0.205
385	Alacalufes	1.42576	22.812
386	Katalalixar	-0.70218	-11.235

387	Lago Jeinemeni	-0.08809	-1.409
388	Lago Peñuelas	-0.01003	-0.161
389	Lago Palena	-0.02267	-0.363
390	Lago Rosselot	-0.01018	-0.163
391	Huemules de Ñiblinto	-0.01711	-0.274
392	La Chimba	-0.00028	-0.004
393	Lago Cochrane	-0.01444	-0.231
394	Las Chinchillas	0.00118	0.019
395	Nalcas	-0.03504	-0.561
396	Coyhaique	-0.00603	-0.096
397	Federico Albert	0.00014	0.002
398	Los Flamencos	-0.00203	-0.032
399	Mocho - Choshuenco	-0.00844	-0.135
400	Pampa del Tamarugal	-0.00121	-0.019
401	Río Clarillo	-0.00769	-0.123
402	Río Simpsons	-0.08491	-1.359
403	Trapananda	-0.00198	-0.032
404	Roblería Cobre Loncha	-0.01196	-0.191
405	Río Los Cipreses	-0.01630	-0.261
406	Lago Carlota	-0.02644	-0.423
407	El Yali	-0.00013	-0.002
408	China Muerta	-0.02402	-0.384
409	Futaleufú	-0.02207	-0.353
410	Lago Las Torres	-0.00878	-0.140
411	Laguna Torca	-0.00151	-0.024
412	Alto Biobío	-0.03710	-0.594
413	Cerro Castillo	-0.18646	-2.983
414	Las Vicuñas	-0.00548	-0.088
415	Los Ruiles	-0.00002	0.000
417	Río Blanco	-0.00264	-0.042
418	Altos de Lircay	-0.00719	-0.115
419	Ñuble	-0.08574	-1.372
420	Laguna Parrillar	-0.02632	-0.421
421	Magallanes	-0.03102	-0.496
422	Malalcahuello	-0.01340	-0.214
423	Malleco	0.01902	0.304