



Centro de Estudios
Ambientales
Universidad Austral de Chile



**IDENTIFICACIÓN DE SUPERFICIES
POTENCIALES DE BOSQUE NATIVO
PARA EL INCREMENTO
DE SECUESTRO DE CARBONO**



Agradecimientos Al programa Núcleo de Investigación de Excelencia, de la Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo y Creación Artística de la Universidad Austral de Chile, por el financiamiento de la presente publicación.



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza

Cómo citar este documento Núcleo Transdisciplinario en Estrategias Socio-Ecológicas para la Sostenibilidad de los Bosques Australes (TESES) y Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano Sostenible (CEAM) (2023). *Identificación de superficies potenciales de bosque nativo para el incremento de secuestro de carbono*. Universidad Austral de Chile, 33 p.

Estudio Técnico Alejandra Carmona y Alfredo Erlwein

Editores Alfredo Erlwein, Pablo Donoso y Andrea Pino

Colaboradores	Claustro del Núcleo Teses	Julio Gerding / Cooperativa Calahuala
	CEAM UACH	Víctor Vera / IIAS UACH
	Olga Barbosa / IEB UACH	José Dörner / CISVO, IIAS UACH
	Paz Duran / IEB UACH	Susana Valle / CISVO, IIAS UACH
	Trevor Walter / WWF	Dante Pinochet / CISVO, IIAS UACH
	Jennifer Romero / AIFBN	Dorota Dec / CISVO, IIAS UACH
	Antonio Lara / ICBT UACH	Luciano Caputo / ICML UACH
	Víctor Gerding / CISVO, IBS UACH	Alejandra Zúñiga / ICAEV UACH
	Alberto Tacón / Cooperativa Calahuala	Jimena Besoain / Geohumano



RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto estableció mediante técnicas de análisis geográficos la superficie y zona de forestación, restauración y manejo de bosques nativos entre las regiones del Maule y Los Lagos, con el fin de incrementar el secuestro de carbono de los bosques nativos en Chile.

Se determinaron 1,486,879 hectáreas susceptibles de ser forestadas que en su conjunto capturarían 20,598,739 ton de CO₂ al año.

Por otra parte, se identificaron 563,528 hectáreas de bosques degradados, cuya restauración podría incrementar la captura de carbono en: 8,600,065 ton de CO₂ al año.

Por último, se identificaron 519,175 hectáreas de bosques potencialmente manejables, cuyo manejo podría incrementar la captura de carbono en 8,747,760 ton de CO₂ al año.

**CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	4
METODOLOGÍA	7
Paso 1: Identificación de áreas susceptibles para ser forestadas	7
Paso 2: Determinación de áreas para el manejo forestal y la restauración	15
RESULTADOS	17
Forestación	17
Manejo de Bosque Nativo	18
Restauración de Bosque Nativo	20
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	23
Reflexiones y recomendaciones	30
Conclusiones	33
REFERENCIAS	35

ACRÓNIMOS

CEAM:	Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano Sostenible
CISVO:	Centro de Investigación en Suelos Volcánicos
IBS:	Instituto Bosques y Sociedad
ICAEV:	Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas
ICBT:	Instituto de Conservación, Biodiversidad y Territorio
ICML:	Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
IEB:	Instituto de Ecología y Biodiversidad
IIAS:	Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos
UACH:	Universidad Austral de Chile
WWF:	Fondo Mundial para la Naturaleza



INTRODUCCIÓN

Este estudio representa una contribución desde el ámbito académico para respaldar y ampliar los esfuerzos del Estado de Chile en la configuración de sus Estrategias Nacionalmente Determinadas (NDCs) en cumplimiento con los compromisos establecidos en la COP25 de la Convención Marco sobre Cambio Climático de Naciones Unidas. Aunque no pretende ser una evaluación exhaustiva del panorama de secuestro de carbono forestal en Chile, busca proporcionar datos significativos que fomenten un diálogo en torno al papel fundamental de este sector en la agenda climática nacional. Además, se aspira a potenciar la ambición nacional para alcanzar la neutralidad de carbono a mediano plazo.

En un contexto global, marcado por un incremento anual promedio del 2.2% en las emisiones de carbono entre 2005 y 2015 (Le Quere, *et al.* 2019), los esfuerzos mundiales se han intensificado para aumentar la absorción de carbono en los bosques, respondiendo a las metas planteadas en el acuerdo de París y la urgencia de limitar el aumento de la temperatura planetaria por debajo de los 2°C (Pan *et al.*, 2011; Griscom *et al.*, 2017). Las políticas y estrategias forestales a nivel global se han centrado en expandir la superficie forestal, aumentar la densidad de carbono y evitar la reducción de áreas forestales (FAO, 2011).

Chile se ha sumado a estos esfuerzos, comprometiéndose ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Sin embargo, se enfrenta a una transición forestal peculiar, donde la expansión de especies exóticas ha tenido un papel predominante en su historia reciente (Heilmayr, *et al.* 2016).

Esta situación plantea un desafío crucial, ya que las plantaciones de rápido crecimiento compiten con la conservación de los bosques nativos, poniendo en peligro los servicios ecosistémicos que proporcionan estos últimos.

Un estudio del año 2018 destacó 251 impactos identificados en 92 estudios sobre las plantaciones forestales a gran escala basadas en especies exóticas (Malkamaki, *et al.* 2018). Dichos impactos se relacionaron con la adquisición de tierras, la creación de empleo y cambios en las condiciones de vida. Estos hallazgos resaltan los efectos socioeconómicos mayormente negativos para las comunidades cercanas a estas plantaciones, con implicaciones en las dinámicas sociales locales.

Además, se debe considerar el consumo de agua asociado a la forestación, lo cual puede reducir la disponibilidad de agua en cuencas donde se establecen estas plantaciones, generando posibles crisis hídricas en un contexto nacional de megasequía (CR2, 2015). Estudios recientes comparativos entre bosques nativos adultos y plantaciones forestales de especies exóticas han demostrado diferencias significativas en el consumo de agua, subrayando la importancia de evaluar estos impactos en la gestión forestal (Álvarez, *et al.* 2019).

La encrucijada actual en la política del país radica en cómo impulsar un secuestro de carbono a largo plazo desde los ecosistemas forestales, garantizando su estabilidad y promoviendo la sinergia con los compromisos globales adquiridos por Chile, como los Objetivos de Desarrollo Sustentable.

El presente documento tiene como objetivo principal ofrecer recomendaciones para una evaluación espacial y una focalización más precisa de los esfuerzos de mitigación propuestos en el sector forestal dentro del marco de las NDCs. Aunque se reconoce la necesidad de profundizar en las metodologías presentadas, este estudio incluye actividades y reservorios no abordados previamente por los propuestos por Chile, como el manejo sustentable de los bosques y reservorios específicos, como el carbono orgánico del suelo en suelos Ñadi.





METODOLOGÍA

Este proyecto estableció mediante técnicas de análisis geográficos la superficie y zona de forestación, restauración y manejo forestal con especies nativas entre las regiones del Maule y Los Lagos. A continuación, se describen los pasos metodológicos realizados para la identificación de áreas potenciales para la captura de carbono:

PASO 1: IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES PARA SER FORESTADAS

Condiciones de suelo

Se evaluaron las condiciones de suelo y uso del suelo para la forestación, tomando en consideración una serie de criterios descritos a continuación.

a) Suelos erosionados

En Chile, la erosión representa un desafío ambiental significativo que afecta extensas áreas del país, especialmente en regiones con suelos vulnerables a procesos erosivos. Los impactos de la erosión son evidentes en diversas zonas, especialmente en el norte y centro del país. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se estima que alrededor del 43% del territorio chileno experimenta procesos erosivos, principalmente debido a factores climáticos extremos, malas prácticas agrícolas y deforestación.

La erosión del suelo se ve agravada por la combinación de factores como la topografía, la intensificación de la agricultura y la deforestación, lo que aumenta la vulnerabilidad de los suelos a ser arrastrados por las lluvias intensas. Esta situación es especialmente crítica en zonas como la Región del Maule, donde la actividad agrícola intensiva y las precipitaciones irregulares han exacerbado los procesos erosivos. Adicionalmente, es preciso destacar que la erosión del suelo no solo afecta la productividad agrícola, al disminuir la calidad y la cantidad de suelo disponible, sino que también provoca la sedimentación de ríos y embalses, afectando la calidad del agua y la infraestructura hídrica (Fao, 2019).

En este contexto, la forestación de estos suelos con especies nativas para la captura de carbono es crucial por varias razones, respaldadas por la literatura científica:

- **Adaptación al Entorno.** Estudios como el de Nativi *et al.* (2013) resaltan que las especies nativas están mejor adaptadas a las condiciones locales, lo que les permite prosperar en terrenos erosionados y contribuir significativamente a la estabilización del suelo.
- **Mayor Resiliencia.** Según la investigación de Hughes *et al.* (2015), las especies nativas tienden a ser más resistentes a las condiciones climáticas adversas y a los cambios ambientales, lo que las hace más idóneas para áreas con historial de erosión.
- **Restauración Ecológica.** Estudios como el de Suding *et al.* (2015) destacan que las especies nativas no solo ayudan a estabilizar el suelo, sino que también restauran la biodiversidad y las funciones ecológicas en áreas degradadas, contribuyendo a la recuperación de ecosistemas locales.
- **Conservación de la Biodiversidad.** Según Harris *et al.* (2012), la forestación con especies nativas contribuye significativamente a la conservación de la diversidad biológica local, protegiendo la flora y fauna autóctonas y fortaleciendo los hábitats naturales.
- **Mejora de la Calidad del Suelo.** De acuerdo con Richardson *et al.* (2018), las especies nativas mejoran la calidad del suelo a largo plazo, promoviendo interacciones beneficiosas con los microorganismos del suelo y contribuyendo a una estructura más estable y fértil.

Para su evaluación se utilizaron las coberturas espaciales y categorías descritas en el Cuadro 1.

b) Capacidad de uso de suelo

En Chile, las categorías de capacidad de uso de suelo se establecen para evaluar la idoneidad y las limitaciones del terreno en función de su capacidad para soportar diferentes tipos de usos y actividades humanas. Según el Decreto Ley 2565 sustituye Decreto Ley 701, de 1974, señala que estas categorías se dividen en clases que van desde las más aptas hasta las menos aptas para usos específicos. Se consideran aspectos como la profundidad y fertilidad del suelo, la pendiente, la susceptibilidad a la erosión, el drenaje, entre otros factores.

En Chile, la clasificación de capacidad de uso de suelo se divide en ocho clases, según abarcando desde tierras con la mayor aptitud para usos forestales y agrícolas hasta aquellas con limitaciones significativas para estos fines.

Para efecto de este trabajo, se utilizaron las siguientes categorías de capacidad de uso de suelo:

- **Capacidad de Uso del Suelo VI.** Terrenos con limitaciones extremas para la agricultura o la silvicultura. Incluyen áreas con presencia significativa de rocas, suelos muy escasos o zonas muy empinadas.
- **Capacidad de Uso del Suelo VII.** Áreas con características inapropiadas para la agricultura o la silvicultura. Comprende zonas con presencia de cuerpos de agua, suelos aluviales o áreas urbanas.
- **Capacidad de Uso del Suelo VIII.** Terrenos con limitaciones severas para la actividad agrícola o forestal. Suelos con pendientes pronunciadas, suelos poco profundos, presencia de rocas u otras limitaciones que dificultan su uso para actividades agrícolas intensivas, o se utilizaron los suelos descritos en el Cuadro 2.

c) Coberturas vegetacionales compatibles para la forestación

Según el Decreto Ley 2565 del Ministerio de Agricultura, la forestación es la acción de poblar con especies arbóreas o arbustivas terrenos que carezcan de ella o que, estando cubiertos de vegetación, ésta no sea susceptible de explotación económica, ni mejoramiento mediante manejo (Gobierno de Chile, 2020). Dado estos antecedentes y para efectos de este documento la forestación se entenderá del mismo modo, no obstante, los fines de ella se ampliarán desde la susceptibilidad de explotación económica hasta la provisión de servicios ecosistémicos de importancia global y local (ej.: secuestro de carbono; regulación hídrica). Para su evaluación se utilizaron las coberturas espaciales y categorías descritas en el Cuadro 3.

d) Exclusión de pisos vegetaciones maduros

Los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2017) son una clasificación ampliamente reconocida en Chile para entender la distribución de la vegetación en relación con factores climáticos y geográficos. Esta clasificación divide el territorio chileno en distintos pisos o niveles altitudinales, cada uno caracterizado por su flora específica en respuesta a variaciones en la temperatura, precipitación y otros factores ambientales. Estos pisos se organizan de manera vertical, desde el nivel del mar hasta las altas cumbres de la cordillera de los Andes, reflejando la adaptación de la vegetación a las condiciones climáticas cambiantes a medida que se asciende en altitud.

En la clasificación de Luebert y Pliscoff (2017) se identifican distintos pisos vegetacionales, como el piso basal, el piso de matorral, el piso de bosque esclerófilo, el piso de bosque caducifolio, el piso de bosque siempreverde y el piso de vegetación de alta montaña. Cada uno de estos pisos se define por su conjunto particular de especies vegetales dominantes y características específicas que los diferencian, desde la adaptación a la sequía y el estrés térmico en niveles bajos hasta la resistencia a condiciones extremas como la alta radiación solar y el frío intenso en altitudes superiores. Esta clasificación ha sido fundamental para comprender la biodiversidad vegetal en Chile y ha servido como base para investigaciones científicas y estrategias de conservación de la flora en diferentes altitudes y regiones del país (Cuadro 4).

e) Consideraciones ambientales hídricas

Los decretos de escasez hídrica en Chile son medidas legales que el gobierno implementa para gestionar y regular el uso del agua en regiones donde se experimenta una disminución significativa en los recursos hídricos. Estos decretos establecen restricciones y reglas específicas sobre la extracción, distribución y consumo del agua, con el fin de proteger y conservar este recurso vital. Cuando se declara escasez hídrica, se restringen actividades que requieren grandes volúmenes de agua, como la agricultura intensiva o la forestación, para evitar un mayor estrés en los recursos hídricos disponibles.

En cuanto a la forestación con especies nativas en zonas afectadas por decretos de escasez hídrica, existe la preocupación de que estas especies, aunque adaptadas a las condiciones locales, podrían aumentar la demanda de agua en una región ya comprometida en términos de disponibilidad hídrica.

Las plantaciones, especialmente durante su etapa de establecimiento, consumen una cantidad considerable de agua. En consecuencia, al introducir especies forestales nativas en áreas con escasez de agua, se podría agravar el estrés hídrico en el ecosistema local, compitiendo con la disponibilidad de agua para otros usos vitales, como el consumo humano o la agricultura de subsistencia (CR2, 2015). Para su evaluación se utilizaron las coberturas espaciales y categorías descritas en el Cuadro 5.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Inventario de Erosión de los Suelos de Chile	Moderada Severa Muy severa	Plataforma CIREN. 2010. Bien público apoyado por el Ministerio de Agricultura de Chile y financiado por Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

Cuadro 1. Cobertura espacial y categorías utilizada para seleccionar condiciones del terreno a partir de la erosión de los suelos.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Capacidad de uso de suelo	VI- VII-VIII	CIREN. 2019

Cuadro 2. Cobertura espacial y categorías utilizada para seleccionar condiciones del terreno a partir de la Capacidad de uso de suelo.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Catastro de recursos vegetacionales nativos de Chile	Uso de suelo "Praderas y matorrales" Terrenos de uso agrícola	Conaf. 2016. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región del Maule.
		Conaf. 2015. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región del BioBio
		Conaf. 2014. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región de La Araucanía
		Conaf. 2014. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región de Los Ríos
		Conaf. 2013. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región de Los Lagos

Cuadro 3. Cobertura espacial y categorías utilizada para seleccionar condiciones del terreno a partir de la cobertura de suelo.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Pisos vegetacionales	Pisos vegetacionales	Luebert y Plissock 2017

Cuadro 4. Cobertura espacial y categorías utilizada para seleccionar condiciones del terreno a partir de los pisos vegetacionales.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Decreto de escasez hídrica 2022	Cuencas afectadas por el decreto	Dirección General de Aguas

Cuadro 5. Cobertura espacial y categorías utilizada para seleccionar condiciones del terreno a partir de los pisos vegetacionales.

f) Zonas de amortiguación hídrica

Los bosques ribereños actúan como una barrera natural que ayuda a prevenir la erosión del suelo y la sedimentación en los cursos de agua. La vegetación cercana a los ríos estabiliza las orillas, reduciendo el impacto del flujo del agua y disminuyendo la posibilidad de inundaciones. Además, estas áreas desempeñan un papel vital en la filtración y purificación del agua al actuar como filtros naturales, mejorando la calidad del agua que fluye a través de los ríos y manteniendo el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos (Little *et al.*, 2010).

Además de su función en la conservación del suelo y la regulación del flujo de agua, los bosques ribereños ofrecen hábitats ricos y diversos para una amplia gama de especies de plantas y animales. Estas zonas sirven como corredores biológicos, facilitando el movimiento de la vida silvestre entre diferentes áreas. Los bosques nativos a lo largo de los ríos también proporcionan sombra, mantienen temperaturas adecuadas del agua y aportan materia orgánica clave, influyendo en la productividad de los ecosistemas fluviales y promoviendo ciclos saludables de nutrientes. En resumen, conservar áreas de bosque nativo en las riberas de los ríos no solo protege los cursos de agua, sino que también sostiene la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas asociados. Para su evaluación se utilizaron los criterios propuestos por Romero *et al.*, 2021, descritos en el Cuadro 6.

g) Suelos improductivos con alta acumulación de carbono:

Ñadis delgados

Los suelos Ñadi se caracterizan por la presencia de un horizonte plácico (capa llamada comúnmente “fierrillo”) que impide el drenaje, limitando seriamente su potencial productivo, razón por la que han sido drenados históricamente. Paradójicamente, esta característica les confiere a los Ñadi importantes servicios ambientales, como la acumulación de agua en el perfil (reservorio), o el comparativamente alto secuestro de carbono (MO puede superar el 30%), dado en parte por un régimen de anegamiento marcado, lo que redundaría en condiciones de baja oxidación de la materia orgánica. De hecho, el drenaje de estos suelos los expone a un altísimo potencial de subsidencia y contracción (hundimiento) que en algunos casos supera el 30% del perfil, o sobre 40 cm de pérdida de suelo (Ellies, 2001; Dec *et al.*, 2017). Por estas razones, diversos especialistas han sugerido que los suelos Ñadi delgados, menores a 50 cm de

profundidad, no deberían destinarse para fines productivos (Grez, 1993; Gerding, 2010). Para efectos de este estudio, se consideraron las series Ñadi más delgadas: Alerce, Calonje y Huiti. Para ello, se analizaron resultados empíricos de contenido de carbono orgánico en suelo para diversas condiciones de uso de suelo, infiriendo el aumento en el reservorio de carbono en suelo por efectos de la forestación con nativo.

h) Consideración de historial de incendios de magnitud

La forestación en zonas afectadas por incendios de magnitud en Chile emerge como un componente crítico para la restauración de ecosistemas y la protección ambiental. La reforestación post-incendios no solo facilita la recuperación de la cubierta vegetal, sino que también contribuye a la estabilización del suelo y la prevención de la erosión, preservando así la funcionalidad de los ecosistemas afectados (Fernandez *et al.*, 2010). Esta iniciativa se posiciona como un factor clave en la recuperación de la biodiversidad y la recuperación de servicios ecosistémicos esenciales.

Adicionalmente promueve la mitigación del cambio climático al absorber carbono, sino que también revitaliza la economía local a través de la generación de empleos sostenibles (Fao, 2013). Para su evaluación se utilizaron las coberturas forestales descritas en el Cuadro 7.

Consolidación de áreas de forestación y cálculo de captura de carbono

Se consolidaron las áreas de forestación (suelos degradados, suelos ñadis, áreas de incendios de magnitud, áreas de protección de ribera), se interceptaron estas áreas con los pisos vegetacionales de Pliscoff y Luebert (2017) para saber el piso y formación vegetal de cada área.

Para la asignación de los valores de captura de carbono, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica de las ecuaciones alométricas. Estas ecuaciones, se derivan a partir de estudios que miden y analizan muestras representativas de árboles, midiendo ciertas dimensiones (como el diámetro y la altura) y pesando la biomasa de esos árboles. Con base en esos datos recolectados, se desarrollan modelos matemáticos que permiten predecir la biomasa y con esto el contenido de carbono de los árboles utilizando mediciones más simples y fáciles de obtener, como el diámetro del tronco.

Tipo de curso y cuerpo de agua	Pendiente (%) *	Ancho (m) **
Ríos, lagunas, lagos y bocatomas	-	>20
Cursos de agua permanentes y temporales	>45%	>30
	>30 y 45%	>20
		>10
Humedales	<30%	>10
Sitio de interés especial	-	>30

* Medida en forma perpendicular al eje del curso de agua

**Medido horizontal y perpendicularmente desde el borde del curso o cuerpo de agua, medida desde la cota más alta

Cuadro 6. Criterios utilizados para seleccionar condiciones del terreno para la forestación.

Coberturas espaciales	Categorías	Fuente
Incendio de Magnitud	Año 2022-2023 Año 2021-2022 Año 2020-2021 Año 2019-2020 Año 2018-2019	IDE Minagri

Cuadro 7. Coberturas espaciales utilizadas para seleccionar condiciones del terreno para la forestación.

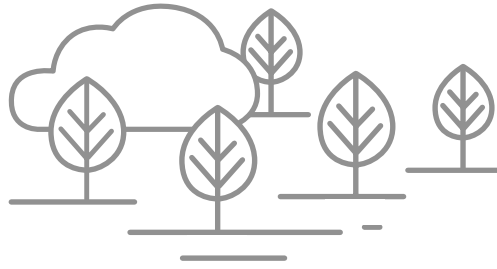
PASO 2: DETERMINACIÓN DE ÁREAS PARA EL MANEJO FORESTAL Y LA RESTAURACIÓN

La determinación de áreas para el manejo forestal se llevó a cabo mediante un enfoque metodológico que consideró diversos criterios de exclusión y selección. En primer lugar, se procedió a la exclusión de áreas designadas como Parques y Reservas Nacionales, con el objetivo de enfocar el análisis en áreas fuera de estos límites protegidos. Posteriormente, se aplicó un filtro para excluir zonas con pendientes superiores al 60%, reconociendo la limitación de estas áreas para propósitos de forestación y su potencial impacto en la estabilidad del terreno.

Además, se implementó un criterio de exclusión para áreas ubicadas a menos de 30 metros de cursos de agua, considerando la importancia de conservar las zonas riparias y su influencia en la salud de los ecosistemas acuáticos. Asimismo, se descartaron bosques achaparrados o de altura reducida, priorizando áreas con una altura arbórea superior a 20 metros para garantizar la idoneidad para la forestación. Finalmente, se seleccionaron específicamente parches de bosques que se encontraban a menos de 500 metros de la red caminera, con el propósito de facilitar el acceso y la gestión sostenible de estas áreas forestales.

Para la selección de áreas de restauración se utilizaron los mismos criterios, enfocados en bosques menores de 20 metros. El secuestro de carbono se realizó de la misma forma que la empleada en las zonas de forestación.





RESULTADOS

FORESTACIÓN

Forestación de áreas degradadas

Dentro del área de estudio, las categorías de erosión expresadas en el estudio de Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile (CIREN, 2010) representan un 32% del total de la superficie analizada. A continuación, en el Cuadro 8, se detalla esta superficie por tipo de erosión y región.

En el caso de la erosión moderada, severa y muy severa, existen 3.430 miles de hectáreas. De éstas un 32% equivalen a suelos de aptitud VI, VII Y VII y 90% son suelos susceptibles a forestación (praderas y áreas de cultivo).

Forestación de suelos ñadis

Del análisis de suelos ñadis se detectó la existencia de 425.000 hectáreas, dentro de las cuáles se han identificado 76.778 hectáreas con características óptimas para la forestación. Estas áreas forestables presentan una serie de ventajas significativas en términos de captura de carbono. Su composición y condiciones naturales proporcionan un entorno propicio para el crecimiento y desarrollo de bosques densos y saludables, lo que les otorga una capacidad excepcional para absorber dióxido de carbono de la atmósfera. Esta capacidad de captura de carbono no solo contribuye a mitigar el cambio climático, sino que también ofrece un potencial de almacenamiento de recursos hídricos.

Forestación de zonas de protección de ribera

Las zonas ribereñas asociadas a la función de protección son fuentes sustentadoras de biodiversidad y reguladoras del caudal hídrico (Granados *et al.* 2006), a partir de los criterios descritos se identificaron 31.214 hectáreas susceptibles a ser forestadas.

Forestación en áreas afectadas por incendios forestales.

Se identificaron 409.198 hectáreas afectadas entre el 2019 y el 2023 por incendios forestales susceptibles a ser forestadas. La forestación de estas áreas representa una estrategia fundamental para la restauración de ecosistemas degradados y la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono. Adicionalmente permiten recuperar la biodiversidad y restablecer el equilibrio natural. La reintroducción de especies nativas no solo busca reforzar la estructura de los ecosistemas, sino también establecer sumideros de carbono efectivos.

En el contexto global de la emergencia climática, la forestación de estas 409.198,23 hectáreas en Chile representa un compromiso significativo con la mitigación del cambio climático y la restauración de los ecosistemas.

La cantidad de carbono que se puede capturar al forestar áreas depende de varios factores, como la extensión del área a forestar, el tipo de vegetación que se plantará, las condiciones climáticas, la edad de los árboles y la salud del ecosistema. A continuación, se muestra un estimado de la cantidad de carbono posible de capturar por cada formación vegetal.

MANEJO DE BOSQUE NATIVO

El manejo forestal sustentable es el proceso de gestión forestal para lograr uno o más objetivos claramente especificados sin disminuir la capacidad del bosque para continuar proporcionando bienes y servicios ecosistémicos a perpetuidad. Lo anterior requiere que se efectúen diversos tipos de actividades silvícolas, que permiten un mejor desarrollo de los árboles seleccionados y mayores tasas de secuestro de carbono.

Desde el año 2008 Chile cuenta con un instrumento específico para promover el manejo sustentable, la recuperación y la preservación de las especies amenazadas del bosque nati-

vo con la promulgación de la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley N° 20,283)¹⁹. No obstante, la Ley presenta una serie de deficiencias, no siendo un real incentivo para el manejo sustentable del bosque (AIFBN, 2014). Cabe destacar, que a nivel mundial (con modificaciones locales) se han implementado una serie de criterios e indicadores para monitorear la efectividad del manejo en términos funcionales y estructurales, y para evaluar sus efectos sobre los servicios ecosistémicos de los bosques (Keles, 2019).

Región	Sin erosión	Erosión ligera	Erosión Moderada	Erosión severa	Erosión muy severa	Erosión no aparente	Otras categorías	Suelos erosionados	Superficie regional	Porcentaje de erosión
Maule	656	349	416	378	336	453	446	1,479	3,034	49%
Bío Bío	840	393	429	212	149	1,444	245	1,183	3,712	32%
La Araucanía	1,132	280	241	244	146	944	199	911	3,186	29%
Los Ríos	427	262	198	80	6	688	177	546	1,837	30%
Los Lagos	751	575	423	139	33	2,143	770	1,17	4,834	24%
Total	3,806	1,859	1,707	1,053	670	5,672	1,837	5,289	16,603	32%

Cuadro 8. Superficie de erosión actual (en miles de hectáreas) por regiones analizadas.

Superficie en hectáreas					
Áreas de forestación	Suelos degradados	Suelos ñadis	Áreas afectadas por incendios forestales	Área de protección de riberas	Total
Esclerófilo	155,322	0	102,213	4,25	261,785
Caducifolio	547,754	7,526	294,47	18,796	868,546
Espinoso	783	0	8,958	48	9,788
Laurifoliado	130,411	2,84	2,157	30	135,438
Siempreverde	143,51	66,412	1,4	24	211,321
Total	977,779	76,778	409,198	23,124	1,486,879

Cuadro 9. Superficie susceptible a forestación según tipo forestal.

Tipo de bosque	Carbono biogénico total (tCO ₂ /ha)	IMA carbono biogénico (tCO ₂ e/ha/año)
Esclerófilo	8.53	0.68
Caducifolio	13.64	0.13
Espinoso	1.4	14
Laurifoliado	21.38	0.64
Siempreverde	17.08	0.17

Cuadro 10. Potencial de captura de carbono por formación vegetacional.

Captura anual de carbono por hectárea (ton CO ₂)					
Áreas de forestación	Suelos degradados	Suelos ñadis	Áreas afectadas por incendios forestales	Área de protección de riberas	Total
Esclerófilo	1,324,898	0	871,877	36,253	2,233,029
Caducifolio	7,471,367	102,655	4,016,568	256,383	11,846,972
Espinoso	1,095	0	12,542	67	13,704
Laurifoliado	2,788,180	60,719	46,125	644	2,895,668
Siempreverde	2,451,142	1,134,317	23,908	417	3,609,784
Total	14,036,683	1,297,691	4,971,020	293,763	20,599,156

Cuadro 11. Potencial de captura de carbono áreas de forestación.

A través de la evaluación realizada fue posible identificar 519.175,16 hectáreas de bosques potencialmente manejables. En el Cuadro 12, se identifican estas zonas por tipo forestal. El manejo de estas áreas capturaría alrededor de 306.928,43 toneladas de carbono por año.

RESTAURACIÓN DE BOSQUE NATIVO

La restauración de bosques degradados proporciona dos vías para mitigar el cambio climático (Edwards *et al.*, 2010). En primer lugar, bosques degradados están muy amenazados y es muy probable que continúen su trayectoria de degradación hasta el cambio de cobertura de suelo (Aguayo *et al.*, 2009; Carmona *et al.*, 2012). En consecuencia, los proyectos de restauración protegen las reservas de carbono existentes al evitar la conversión. Por otra parte, la restauración acelera la tasa de secuestro de carbono del ecosistema al liberar a los árboles de vegetación competitiva y permitir un crecimiento más acelerado del bosque (Dauber *et al.*, 2005; Villegas *et al.*, 2009), proceso en el cual se puede incluir el enriquecimiento con especies seleccionadas (Schulze, 2008). No obstante, la falta de acuerdos en cómo definir y medir la degradación forestal constituye una limitación que obstaculiza los esfuerzos planificados para restaurar bosques dañados o alterados (Vásquez-Grandón *et al.*, 2018). En el caso de Chile, un reporte basado en stocks de carbono (que carece de un enfoque ecosistémico) informa una superficie de 461,231 hectáreas de bosques nativos degradados (CONAF, 2016), cifra que se podría incrementar si se analizara la degradación en forma ecosistémica (Vergara *et al.*, 2019).

La degradación forestal ha sido definida por CONAF, como toda aquella reducción del contenido de Carbono de un bosque, inducida por el ser humano con una intensidad que recomienda el cese de la actividad silvícola, pero que no provoca un cambio de uso de la tierra. Entre sus principales causas se le atribuyen los incendios forestales, usos insustentables de los recursos (especialmente asociado a la extracción de leña), y uso del bosque para ganadería (CONAF, 2016).

Respecto a la cartografía de Bosques Degradados, ya existe una cartografía específica, elaborada como parte del estudio Anexo técnico de resultados REDD+, elaborada por CONAF (2018), de acuerdo con las directrices de la Convención Mar-

co de Cambio Climático¹. Esta cartografía entrega los resultados de cambios en contenidos de CO₂. También incluye a los incendios y la sustitución de bosque nativo a plantaciones como formas de degradación. Al respecto, el presente estudio no utilizó la cartografía en cuestión, por no estar disponible. Por ello, consideramos nuestra metodología como un aporte, en la medida que constituye una visión alternativa que puede ser complementaria al análisis oficial. Pese a que la degradación forestal es considerada un proceso y no un estado, para efecto de este trabajo se utiliza la cubierta forestal como indicador de ésta, de modo de establecer zonas de restauración y rehabilitación en el marco de incremento de captura de carbono. No obstante lo anterior, se reconocen las limitaciones de esta metodología en abordar un proceso de degradación del ecosistema forestal en su integralidad. A través de la evaluación realizada fue posible identificar 563,527 hectáreas de bosques degradados potenciales de ser restaurados, su restauración podría capturar en promedio 8,600,064 toneladas de carbono año.

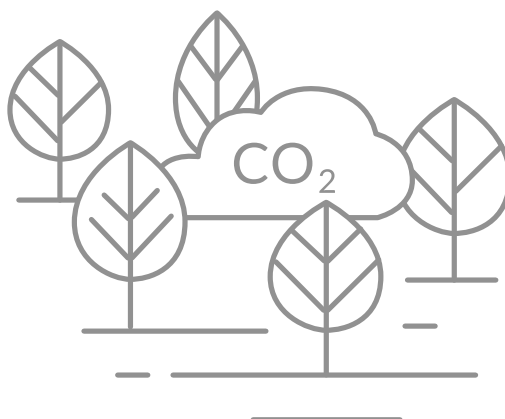
Tipo Forestal	Superficie (ha)	Carbono biogénico total (tCO ₂ /ha)	IMA carbono biogénico (tCO ₂ e/ha/año)	Carbono biogénico total (tCO ₂)	IMA carbono biogénico (tCO ₂ e/año)
Coihue - Raulí - Tapa	42,722	19.51	0.58	833,503	24,779
Coihue de Magallanes	5,206	23.3	0.23	121,307	1,197
Esclerófilo	1,954	8.53	0.68	16,665	1,328
Lenga	9,259	7.44	74	68,889	685
Roble-Hualo	720,57	11.53	0.23	8,308	166
Roble-Raulí-Coihue	167,801	16.21	0.48	2,720,060	80,545
Siempreverde	291,512	17.08	0.68	4,979,028	198,228
Total	519,175			8,747,760	306,928

Cuadro 12. Potencial de captura de carbono áreas de manejo.

Tipo Forestal	Superficie (ha)	Carbono biogénico total (tCO ₂ /ha)	IMA carbono biogénico (tCO ₂ e/ha/año)	Carbono biogénico total (tCO ₂)	IMA carbono biogénico (tCO ₂ e/año)
Coihue - Raulí - Tapa	30,691	19.51	0.58	598,785	17,801
Coihue de Magallanes	1,034	23.3	0.23	24,092	238
Esclerófilo	58,577	8.53	0.68	499,664	39,833
Lenga	13,511	7.44	74	100,52	1
Roble-Hualo	14,242	11.53	0.23	164,213	3,276
Roble-Raulí-Coihue	265,201	16.21	0.48	4,298,905	127,296
Siempreverde	180,272	17.08	0.68	3,078,118	122,585
Total	563,528			8,600,065	312,028

Cuadro 13. Potencial de captura de carbono áreas de restauración.





DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Al comparar los resultados generales del estudio con lo comprometido por Chile para la COP 25 (Gob, Chile, 2019), es posible apreciar un margen de acción que existe entre lo prometido por Chile y el potencial teórico obtenido en este estudio.

Gestión	Propuesta de NDC Chile COP25 (Gob, Chile, 2019)		Resultados de este estudio	
	Superficie susceptible de manejar (ha)	Captura de carbono (ton CO ₂ /año)	Superficie susceptible de manejar (ha)	Captura de carbono (ton CO ₂ /año)
Forestación	200	3,200,000	1,486,879	20,598,739
Restauración		2,287,348	563,528	8,600,065
Manejo sustentable	200	1,100,000	519,175	8,747,760
Total	400	6,587,348	2,049,407	37,946,564

Cuadro 14. Superficies totales susceptibles de gestionar y secuestro potencial de carbono: comparación entre la propuesta actualmente en desarrollo de Chile y los resultados del presente estudio.

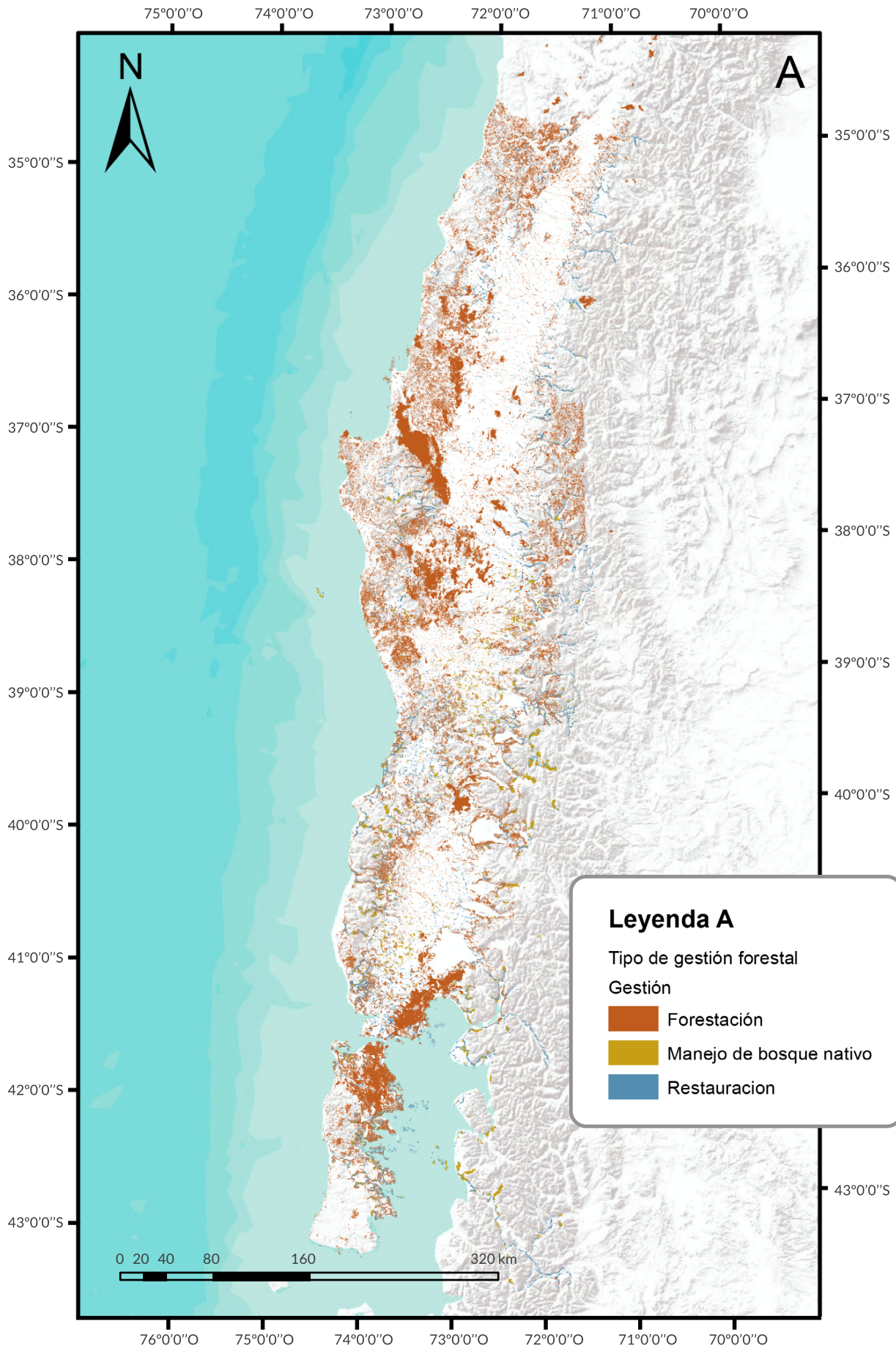
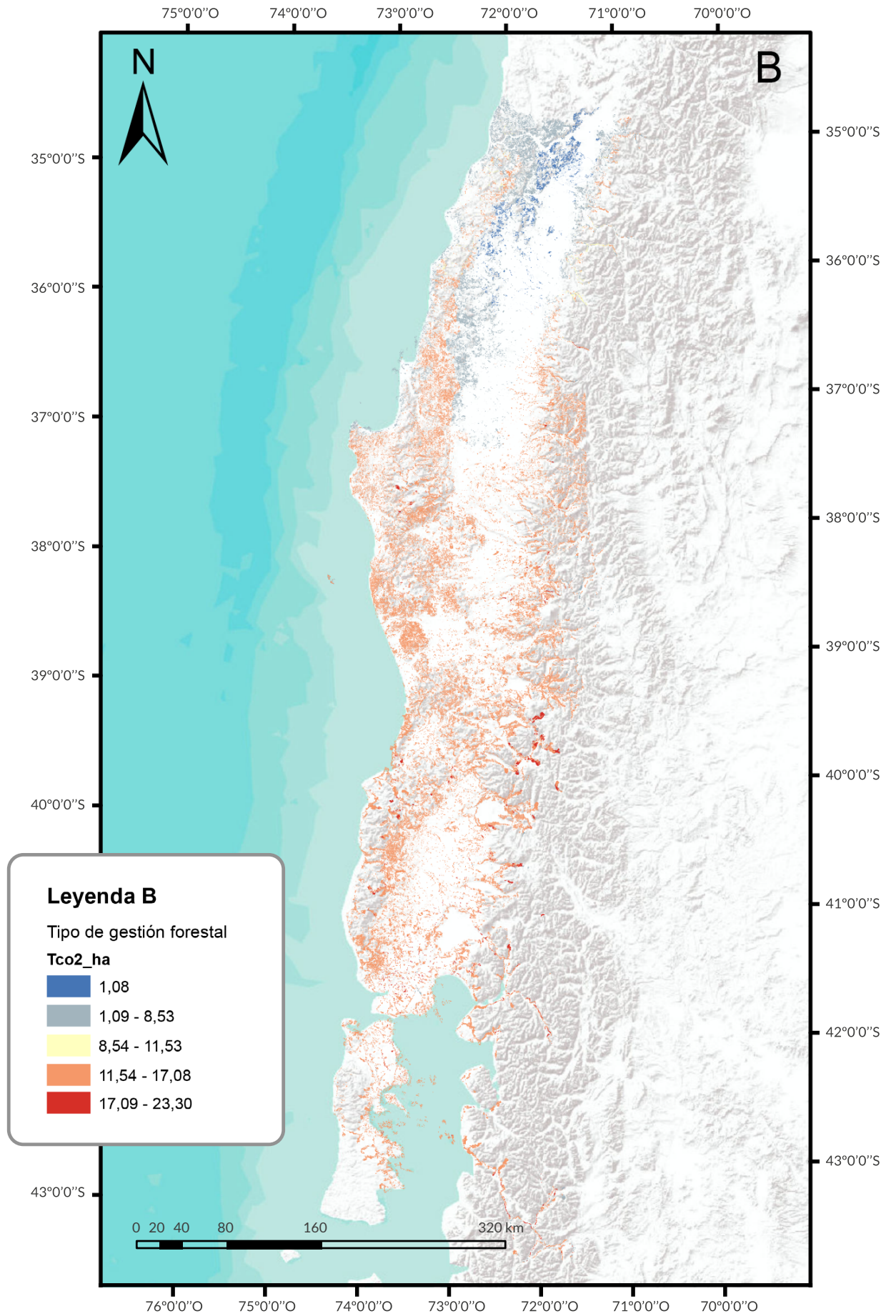


Figura 1. Medida de gestión y potencial captura de carbono.



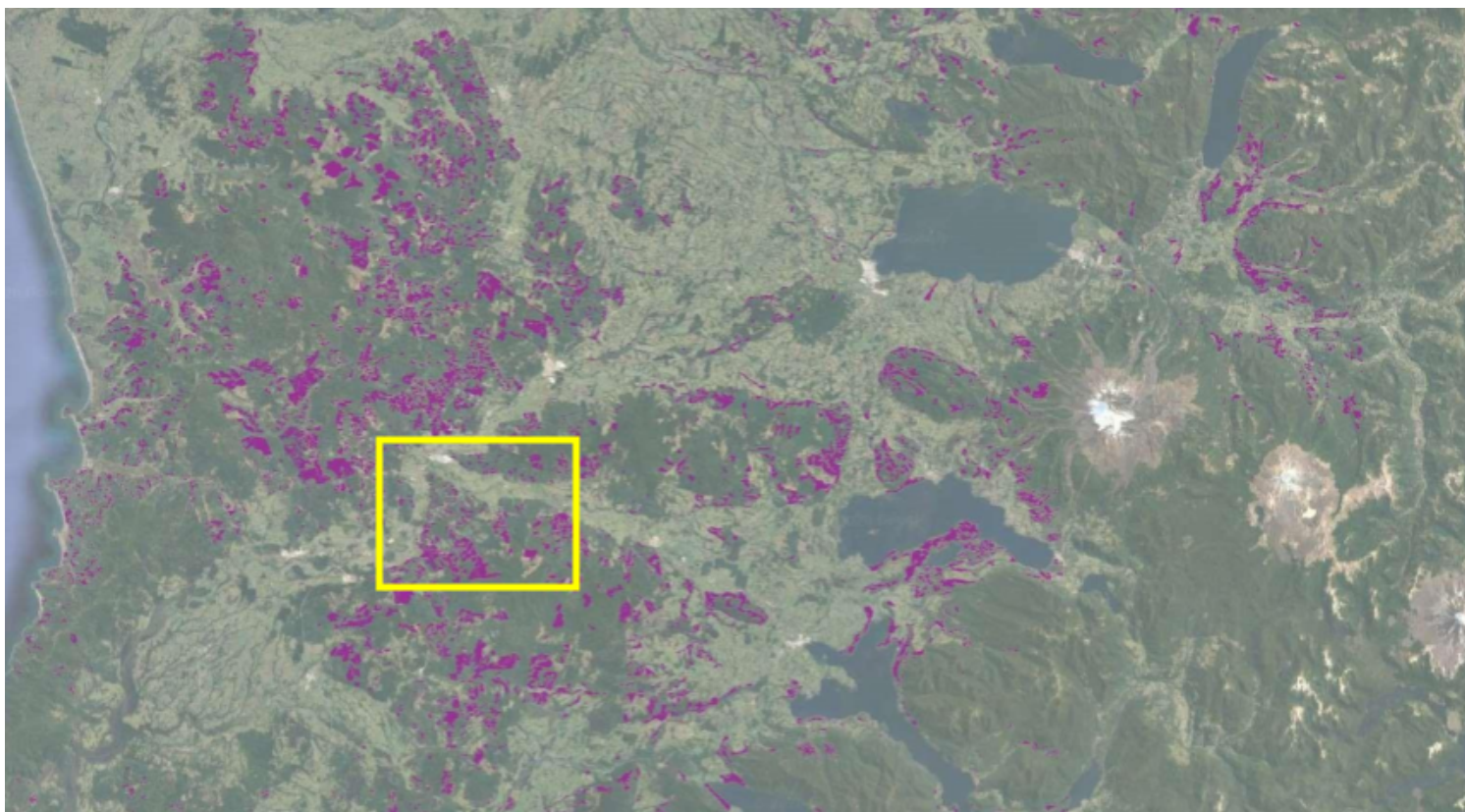


Figura 2. Forestación potencial de praderas de aptitud preferentemente forestal. Ejemplo en el límite IX y XIV región (en lila zonas seleccionadas).



Figura 3. Praderas de aptitud preferentemente forestal. Ejemplo en el límite IX y XIV región, con aumento de zona demarcada en Figura 2.



Figura 4. Forestación potencial de suelos erosionados. Ejemplo para el golfo de Arauco (en lila).



Figura 5. Forestación potencial de riberas de ríos. Superficie a forestar en lila. Ejemplo de la ribera poniente del lago Ranco.



Figura 6. Detalle de forestación potencial en riberas de ríos. Se puede apreciar que la cartografía hidrológica utilizada no se ajusta completamente a los cauces, lo que generaría errores en el cálculo de la superficie total a forestar. Utilizando coberturas más precisas para el afinamiento de los cálculos se solucionaría este problema.

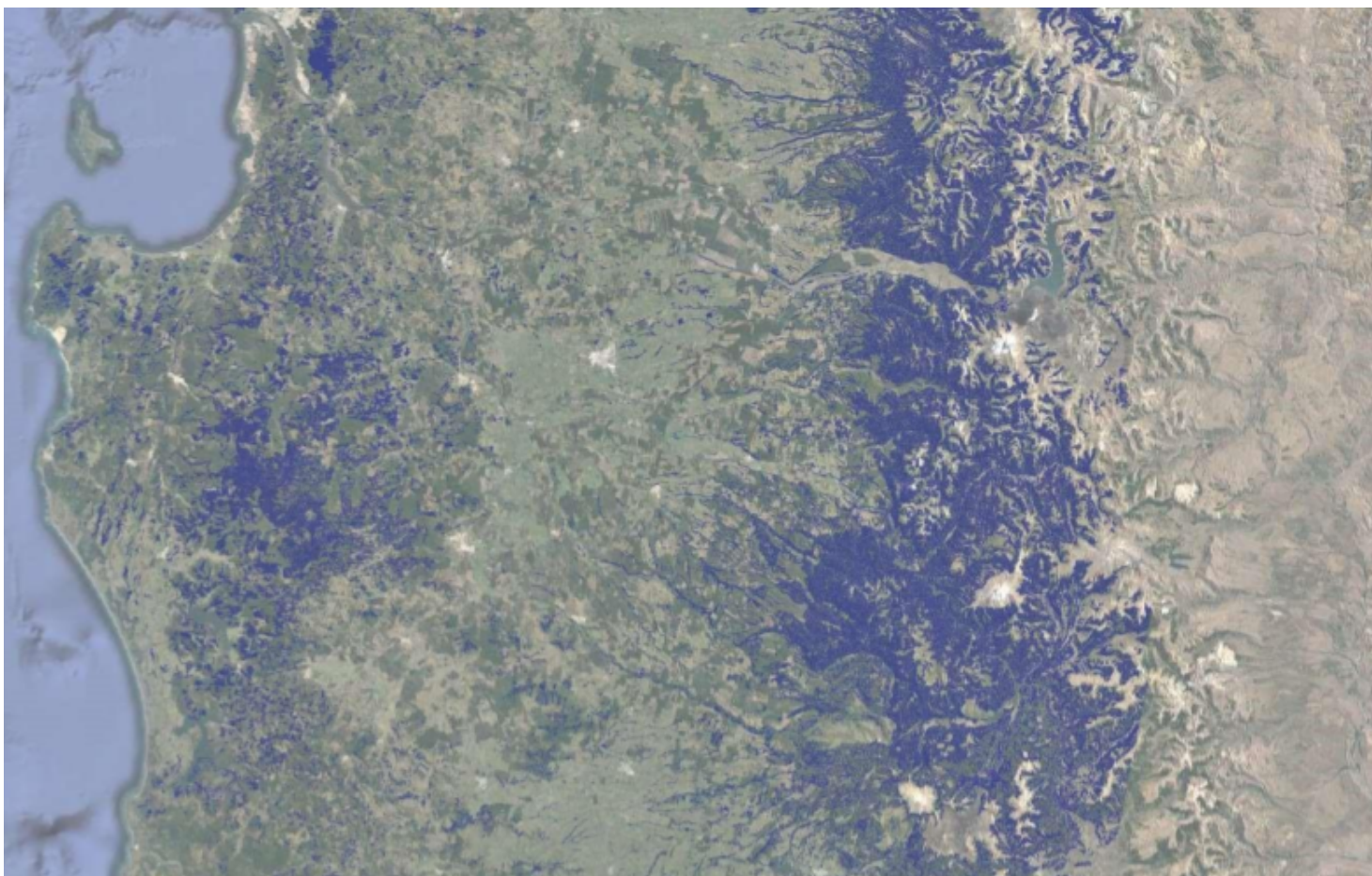


Figura 7. Restauración de bosques degradados (en azul oscuro superficies potenciales).

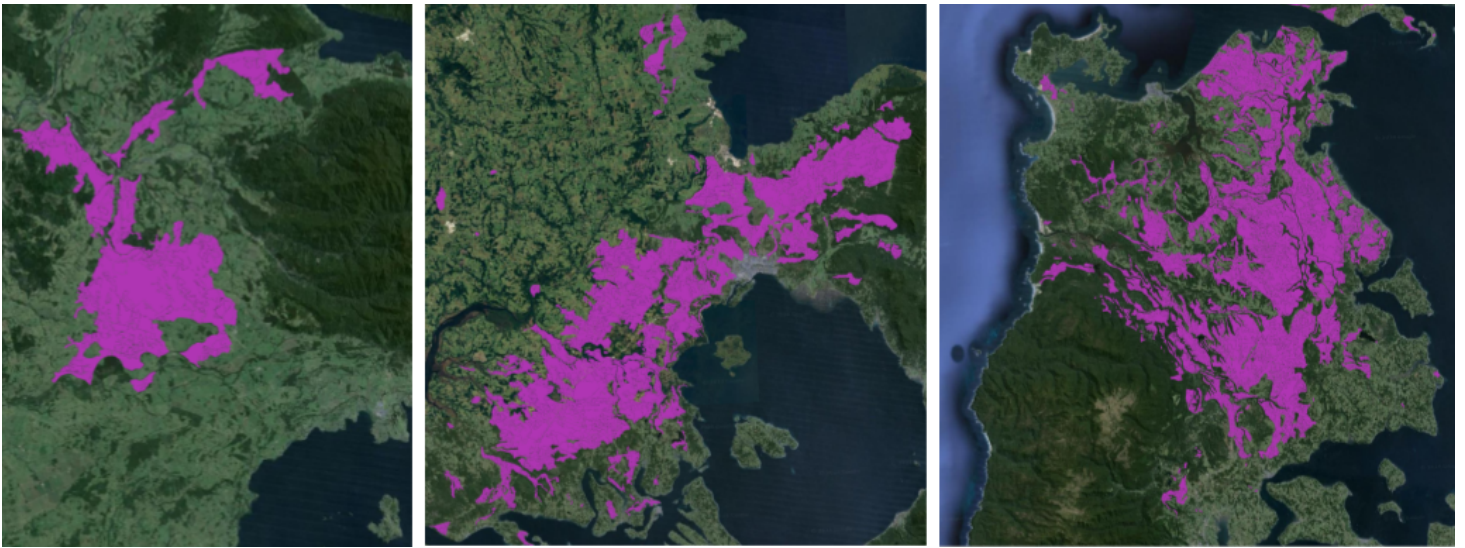


Figura 8. Forestación potencial en series de suelo Ñadi de baja profundidad (delgados), seleccionadas como superficies potenciales para forestación. De izquierda a derecha las series Huiti (Los Lagos-Paillaco), Alerce (Puerto Montt) y Calonje (Chiloé).

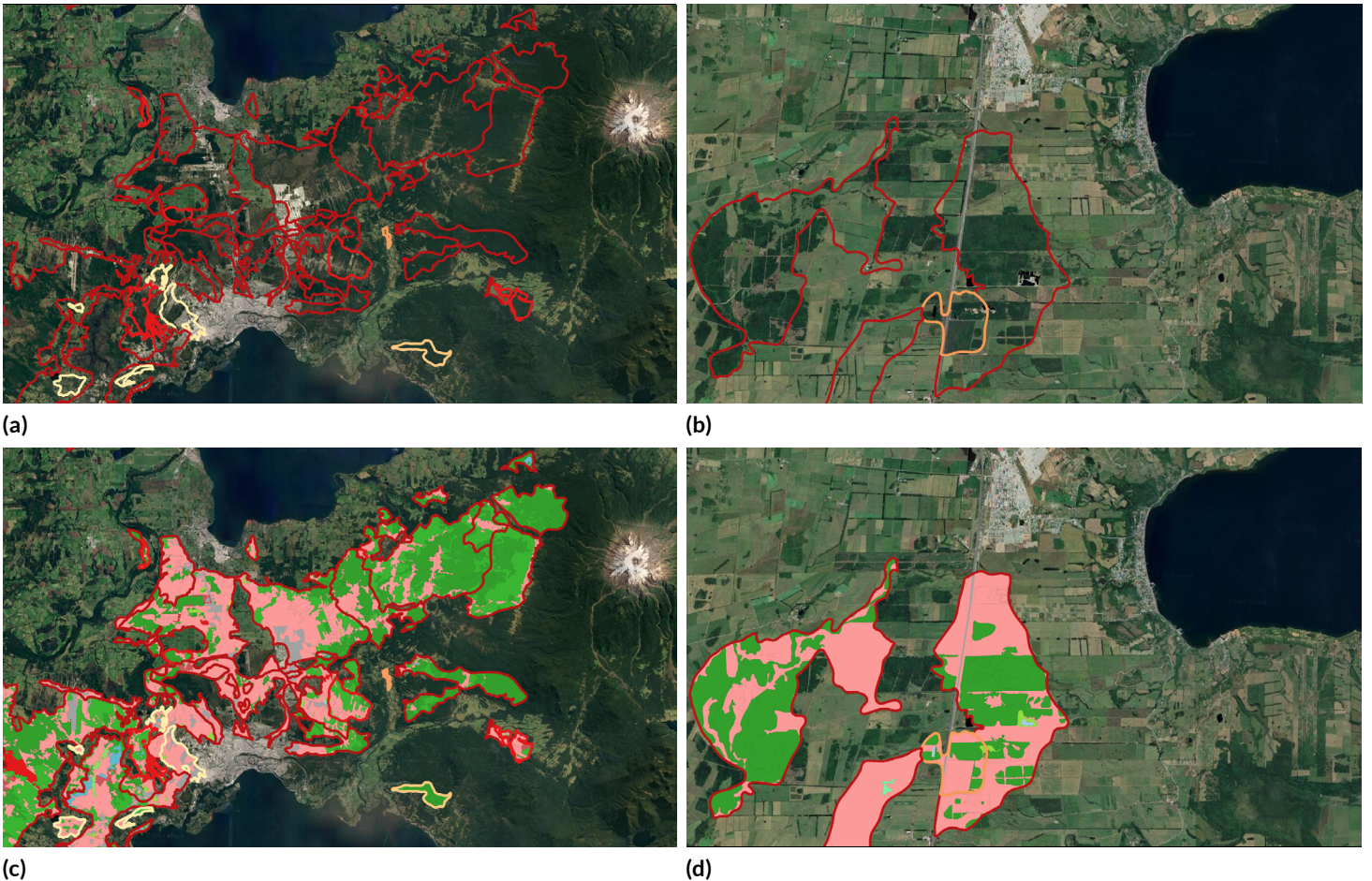


Figura 9. Procesamiento de información geográfica. Ejemplos para suelos Ñadi en las zonas de Puerto Varas-Puerto Montt (a) y Frutillar (b). (a) y (b): polígonos de suelos Ñadi con profundidad inferior a 50 cm. (c) y (d): traslape con polígonos de uso de suelo (catastro Conaf), para el cálculo de superficies efectivas de potencial de forestación.

REFLEXIONES Y RECOMENDACIONES

Las evidencias presentadas en este estudio, que insistimos son perfectibles, dan cuenta de que es posible ampliar los compromisos de secuestro de carbono a través de NDCs de Chile ante la Convención Marco de Cambio Climático de Naciones Unidas, al tiempo de recomponer y dinamizar un recurso de máxima relevancia para el desarrollo económico, ambiental y social de nuestro país.

En efecto, pese a poseer más de 14 millones de hectáreas de bosques nativos, y haber invertido varias décadas de esfuerzos, Chile ha avanzado lento con relación a las urgencias climáticas en la gestión de este recurso, lo que contribuye a invisibilizar sus funciones y la gran cantidad de bienes y servicios (riqueza) que este recurso provee a la sociedad.

Por otra parte, en una situación de crisis climática como la que nos encontramos, se deben buscar soluciones sinérgicas que contribuyan a restablecer no sólo el balance de carbono, sino el tejido social y la actividad económica, entre otros. De ahí la actual búsqueda de “soluciones basadas en la naturaleza”, que entre otras cosas evitan las “externalidades negativas” de las soluciones ambientales puramente tecnológicas, comúnmente monodisciplinarias, enfocadas en aspectos parciales y sin una visión sistémica.

Es por ello muy importante reconocer esta naturaleza sinérgica del recurso bosque nativo, pues pocas soluciones de mitigación o adaptación tienen el potencial de generar en forma paralela y sincrónica soluciones a otros problemas de gran relevancia. Al respecto, las soluciones basadas en favorecer el recurso forestal nativo también implican:

- La conservación de la biodiversidad (en estado crítico).
- La provisión de agua (en estado crítico), tanto en cantidad y calidad.
- El suministro de un material de construcción noble (térmico y antisísmico).
- La formación y cuidado del recurso suelo, base de la productividad ecosistémica.
- La provisión de un combustible seguro y carbono neutral.
- La provisión de polinizadores y controladores de plagas agrícolas y forestales.
- El control eficaz contra la desertificación y contribución al microclima local.

- El incremento de la calidad del paisaje.
- La generación de bellos lugares en donde se desarrollan un sinnúmero de actividades como el turismo, el deporte aventura, la investigación científica, la recolección de productos forestales no madereros, prácticas culturales y espirituales, entre otros.

De acuerdo con el IPCC (2018), si con seriedad se pretende conseguir estabilizar el alza de la temperatura global por debajo de 1,5°C con relación a la era pre-industrial, se deben emprender soluciones de “adaptación transformativa”, es decir, que impliquen una transformación en la manera en que se organiza y desenvuelve la sociedad en su conjunto. A este respecto, en la búsqueda de soluciones es fundamental considerar no sólo el qué, sino el cómo se realizan las soluciones, que imperativamente hoy requieren la participación de las comunidades involucradas para asegurar su éxito y permitir una mayor gobernanza y co-gestión del territorio.

Todos estos aspectos se logran, como en ninguna otra opción de mitigación, con la implementación de medidas a través del recurso forestal nativo, facultándose lo que se ha llamado el triple acierto: junto con lograr mitigación, se potencia la adaptación y se faculta el impulso transformativo de nuevos modelos de desarrollo post combustibles fósiles.

Por todo lo anterior, los resultados del presente estudio se suman a otras voces (Mesa Ciudadana de Cambio Climático, 2019; WWF, 2019; AIFBN, 2016) respecto a la estratégica oportunidad que implica el desarrollo del recurso forestal nativo como punta de lanza de la gestión climática de Chile.

Dada la abundancia de recursos gestionables, una priorización preliminar debería considerar las alternativas más sinérgicas. Esto es:

- *Forestación de riberas de ríos.* Además de contar ya con una normativa al respecto, el hecho de ser superficies adjuntas a cuerpos de agua implica servicios ambientales ecotoniales: gran biodiversidad, depuración de agua de la cuenca, control de la erosión, conservación de humedales y sus servicios, provisión directa de agua. Asimismo, el seguir la línea de los ríos transforma a las franjas ribereñas en eficaces corredores biológicos, cumpliendo un gran rol sobre la fragmentación de hábitat y conservación de la belleza y estructura del paisaje ribereño.

- *Forestación en zona central y depresión intermedia.* Ambos criterios tienen muy baja representatividad en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, por lo que su implementación generaría, además de la mitigación, representatividad ecológica y servicios ambientales en las zonas que más los requieren.

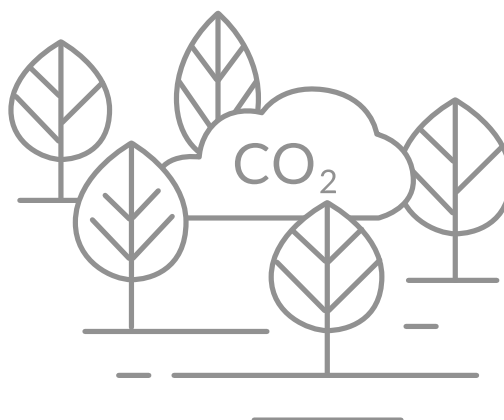
No obstante, para avanzar en esa línea se requiere primeramente seguir mejorando la información que tenemos de nuestros bosques y abrirla a la comunidad de modo que se puedan armar GitHub que permitan una ciencia abierta y colaborativa. Igualmente, los resultados del estudio también sugieren fuertemente poner la mirada en la contabilidad del carbono del suelo (ejemplo de los suelos Ñadi). Para ello es necesario contar con información más detallada, precisa y disponible.

Asimismo, también es importante comprender las dinámicas económicas, sociales y culturales de los sectores rurales como factores críticos de éxito de esta temática. Se requiere comprender mejor las dinámicas de los propietarios rurales de modo de crear instrumentos acordes con su realidad que realmente permitan la forestación, restauración y manejo de bosque nativo. Para ello es necesario comprender a fondo las posibilidades actuales y futuras de las cadenas productivas de los productos forestales maderables y no maderables y su trazabilidad.

Por otra parte, es necesario profundizar en forma sustantiva respecto a los costos que los resultados de este estudio arrojan, así como aspectos legales. Ello revelará la viabilidad de implementación de las alternativas propuestas.

También es necesario reconocer que la forestación en cuencas con estrés hídrico reduce la disponibilidad general del agua, al menos en el corto plazo. Con frecuencia se considera que los bosques tienen un efecto positivo en el agua y el medioambiente en todos los casos, lo cual puede crear expectativas poco realistas. Los posibles impactos hidrológicos positivos y negativos de la forestación deben evaluarse y analizarse con las partes interesadas previa decisión de forestación, para lo cual es importante que las partes comprendan las ventajas y desventajas, así como precisar qué se espera de las acciones a realizar.

Finalmente, se debe ampliar el conocimiento acerca de la infraestructura verde y elevar la mirada de las acciones comprometidas hacia la restauración del paisaje.

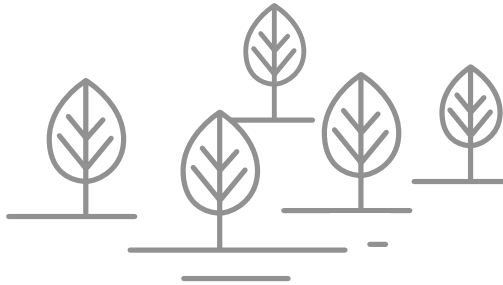


CONCLUSIONES

Los resultados referenciales planteados en este estudio abren la posibilidad a diferentes proyectos de carbono, entre los que destacan forestación, enriquecimiento de bosques nativos degradados y el manejo de renovales de especies nativas. Para todos ellos se presentan directrices para su implementación. Incorporar estos proyectos dentro de las agendas gubernamentales permitiría aumentar significativamente la superficie propuesta en las actuales Contribuciones Nacionalmente Determinadas, considerando integrar otras variables relevantes para su implementación.

De acuerdo con las cifras obtenidas respecto a la gestión del recurso forestal nativo, se reafirma la idea de que Chile puede aumentar su ambición respecto al balance de gases de efecto invernadero a escala nacional, sólo considerando los bosques nativos, que por sí solos constituirían un pilar clave para llevar a Chile a la carbono neutralidad, al tiempo de impulsar un estratégico recurso en la necesaria transformación hacia un modelo de desarrollo sustentable.





REFERENCIAS

Alvarez-Garreton, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). The Impacts of Native Forests and Forest Plantation on Water Supply in Chile. *Forests* 10(6), 473.

Aguayo, M., Pauchard, A., Azocar, G. y Parra, O., (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Rev. Chil. Hist. Nat.* Vol.82, n.3

Chambers, J. Q. *et al.* (2016). The steady-state mosaic of disturbance and succession across an old-growth Central Amazon forest landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(10), 3949-3954.

CR2, Centro de Clima y Resiliencia (2015). Informe a la Nación, I. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro.

CONAF (2013). Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Monitoreo de Cambios y Actualizaciones, Período 1997-2013.

CONAF (2016). Nivel de Referencia de Emisiones Forestales / Nivel de Referencia Forestal Subnacional de Chile, Santiago de Chile.

CONAF (2017). Análisis del impacto de los incendios forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile. Informe Técnico. Santiago, Chile, 50 pp.

CONAF (2018). Anexo técnico de resultados REDD+

Dauber, E., Fredericksen T,S., Pena-Claros, M. (2005). Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecol. Manag.* 214, 294- 304.

Dec, D., Zúñiga, F., Thiers, O., Paulino, L., Valle, S., Villagra, V., Tadich, I., Horn, R., Dörner, J. (2017). Water and temperature dynamics of Aquands under different uses in southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(1), 141-154.

Edwards, D., P., Fisher, B., & Boyd, E. (2010). Protecting degraded ra-
inforests: enhancement of forest carbon stocks under REDD+. *Conservation Letters* 3(5), 313-316.

Ellies, A. (2001). Cambio de las propiedades físicas del suelo con el drenaje. Realidad y perspectivas de la habilitación de suelos mal drenados en el sur de Chile, 6672.

FAO (2011). State of the world's forests 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (2013). Directrices sobre el cambio climático por los gestores forestales. Estudio FAO Montes N° 172, Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO (2019). Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019, Rome.

Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., y Montenegro, G. (2010). Restauración ecológica par ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Santiago, Chile.

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Mitteva, D. A., ... & Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(44), 11645-11650.

Harris, J. A. et al. (2012). Biodiversity's role in ecosystem services. In N. Pettorelli (Ed.), *Biodiversity Monitoring and Conservation: Bridging the Gap between Global Commitment and Local Action*. (pp, 245-258), Wiley-Blackwell.

Heilmayr, R., Echeverria, C., Fuentes, R., & Lambin, E. F. (2016). A plantation-dominated forest transition in Chile. *Applied Geography* 75, 71-82.

Hughes, L., et al. (2015). Climate change and Australia. *WIREs Climate Change* 6(6), 479-492.

Gerding, V., (2010). Reunión de trabajo sobre Plantaciones forestales en Chiloé, con énfasis en suelos ñadis (Conclusiones). Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Le Quéré, C., Korsbakken, J. I., Wilson, C., Tosun, J., Andrew, R., Andres, R. J., ... & van Vuuren, D. P. (2019). Drivers of declining CO2 emissions in 18 developed economies. *Nature Climate Change* 9(3), 213.

Little, C., Lara, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque* 31(3), 175-178.

Luebert F, Pliscoff P (2017) Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2nd ed. Editorial Universitaria, Santiago, CL, 384 pp.

Malkamäki, A., D'Amato, D., Hogarth, N. J., Kanninen, M., Pirard, R., Toppinen, A., & Zhou, W. (2018). A systematic review of the socio-economic impacts of large-scale tree plantations, worldwide. *Global Environmental Change* 53, 90-103.

Morales, C., & Parada, S. (2005). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago, Chile: CEPAL.

Nativi, S. *et al.* (2013). Harmonization, discovery, and use of ecological data: a review of obstacles and solutions. *Journal of Environmental Management* 119, 97-104.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Heath, L. S. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333(6045), 988-993.

Richardson, S. J. *et al.* (2018). Human-dominated land-use reduces the phylogenetic and functional diversity of native plant communities. *Journal of Ecology* 106(3), 1162-1173.

Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., & Naulin, P. I. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque* (Valdivia) 35(1), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100001>

Schulze, M. (2008). Technical and financial analysis of enrichment planting in logging gaps as a potential component of forest management in the eastern Amazon. *Forest Ecol. Manag.* 255, 866– 879.

Suding, K. N. *et al.* (2015). "Committing to ecological restoration." *Science*, 348(6235), 638-640.

Vásquez-Grandón, A., Donoso, P. J., & Gerding, V. (2018). Degradación de los bosques: Concepto, proceso y estado; Un ejemplo de aplicación en bosques adultos nativos de Chile. En: Donoso, Promis y, Soto (Eds.). *Silvicultura en bosques nativos; Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos.* 175-196.

Vergara, G., Schlegel, B., Little, C., Mujica, R., & Martin, M. (2019). ¿Degradación o Degradado? Necesidad de una Propuesta Conceptual para Recuperar la Funcionalidad y Capacidad Productiva de los Bosques. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25 (1): 69-79.

Villegas, Z., Pena-Claros M., Mostacedo B. *et al.* (2009). Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest Ecol. Manag.* 258 (6), 971-977.