

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y MEDIOAMBIENTE

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA



PROPUESTA DE CONVERSIÓN DE UNA PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* (MIRB.) FRANCO) A BOSQUE NATIVO EN LA RESERVA NACIONAL MALALCAHUELLO, BASADA EN UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Actividad de Titulación
presentada en la modalidad de
Práctica Profesional Controlada,
como parte de los requisitos
para optar al título de
Ingeniero(a) en Recursos
Naturales de la Universidad de
La Frontera.

GERMÁN ALEXANDER NAHUELAN NAVARRETE

PROFESOR GUIA: RODRIGO IGNACIO VARGAS-GAETE

TEMUCO – CHILE

DICIEMBRE, 2025

ÍNDICE

	Página
1. RESUMEN (máximo 400 palabras)	5
2. INTRODUCCIÓN	7
3. OBJETIVOS	10
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS	1
4.1 REVISION BIBLIOGRAFICA SOBRE METODOS DE COSECHA FORESTAL	3
4.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ARTICULOS EN LOS MÉTODOS DE COSECHA FORESTAL	4
4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN COSECHA FORESTAL	6
4.4 IMPACTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	7
4.5 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO: RESERVA NACIONAL MALALCAHUELLO	9
4.5.1 Autoecología de la especie.....	10
4.6 PROCESAMIENTO ARCHIVO LIDAR.....	11
4.7 PARCELAS DE MUESTREO.....	12
4.8 TRATAMIENTOS.....	13
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
5.1 REVISIÓN DE LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE MÉTODOS DE COSECHA FORESTAL	14
5.1.1 Literatura a nivel global.....	14
5.1.2 Investigación sobre métodos de cosecha y regeneración	15
5.2 TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN EN LA LITERATURA CIENTÍFICA ASOCIADOS A LA COSECHA FORESTAL	17
5.2.1 Tópicos a nivel global	17
5.2.2 Tópicos a nivel nacional	18
5.3 IMPACTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	20
5.3.1 Categorías.....	20
5.3.2 Subcategorías	21
5.4 EFECTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	23
5.4.1 Subcategorías de servicios ecosistémicos.....	23

a) Tala rasa	23
b) Corta de retención variable	24
c) Tala rasa en fajas.....	26
5.5 PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS DEL ARCHIVO LIDAR.....	27
5.5.1 Densidad de árboles en el rodal.....	28
5.5.2 Pendiente	29
5.6 PROPUESTA DE PARCELAS DE MUESTREO FORESTAL	31
5.7 TRATAMIENTOS	32
5.7.1 Raleo.....	33
5.7.2 Raleo de conversión	33
5.7.3 Tala rasa	34
5.8 REDUCCION DE COPA DEL 20%	35
6. DISCUSION	36
7. CONCLUSIONES Y CUMPLIMIENTO DEL PERFIL PROFESIONAL	39
8. AGRADECIMIENTOS	41
9. BIBLIOGRAFÍA	42
9. ANEXOS Y/O APENDICES	49

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Esquema de los métodos de cosecha.	2
Figura 2 Representación de los métodos de cosecha.	3
Figura 3 Diagrama de flujo.	5
Figura 4. Esquema de los servicios ecosistémicos.	8
Figura 5. Ubicación de la Reserva Nacional Malalcahuello.	9
Figura 6. Número de trabajos asociados a la búsqueda de literatura tanto a nivel global como nacional.	14
Figura 7. Número de registros asociados a los cinco métodos de cosecha mencionados en la literatura científica a nivel global y nacional.	15
Figura 8. Número de registros asociados a métodos de cosecha forestal en la búsqueda de literatura gris a nivel nacional.	16
Figura 9. Número de artículos científicos a nivel global asociados a los métodos de cosecha en plantaciones.	18
Figura 10. Número de artículos asociados a tópicos que desarrollan investigación mediante el uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales.	19
Figura 11. Impactos de tres métodos de cosecha forestal; corta de retención, tala rasa en fajas y tala rasa, sobre las categorías de servicios ecosistémicos; provisión, regulación y soporte.	21
Figura 12. Impactos de distintos métodos de cosecha forestal; corta de retención variable, tala en fajas y tala rasa, sobre las subcategorías; a) biodiversidad, b) biomasa, c) ciclo de nutrientes, d) control de plagas, c) formación del suelo, d) productividad primaria.	22
Figura 13 Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos.	24
Figura 14. Número de registros asociados a los impactos de la corta de retención variable sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos.	25
Figura 15. Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa en fajas sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos.	26
Figura 16. Representación de los árboles que se encuentran en el rodal “Sector Bodega A y B”. ..	28
Figura 17. Densidad de árboles para el rodal “Sector Bodega A y B”.	29
Figura 18. Representación de la pendiente en porcentaje al interior del rodal de estudio.	30
Figura 19. Representación de las parcelas de muestreo de estructura forestal para el rodal de estudio.	32
Figura 20. Representación de los sectores a intervenir al interior del rodal mediante 3 tratamientos; tala rasa, raleo y raleo de conversión.	34
Figura 21. Representación de la reducción de copa para el sector D que cuenta con una superficie de 1,43 ha y que corresponde a una plantación pura de pino oregon.	35

1. RESUMEN

Las plantaciones forestales en Chile han sido históricamente manejadas bajo esquemas silviculturales intensivos, caracterizados por el uso predominante de métodos de cosecha como la tala rasa, orientados a maximizar la productividad en cortos períodos de tiempo. Si bien estos sistemas han permitido el desarrollo del sector forestal, también han generado impactos significativos sobre los servicios ecosistémicos, afectando la biodiversidad, la regulación hídrica, la estabilidad del suelo y otros procesos ecológicos clave. En este contexto, la conversión de plantaciones forestales a bosque nativo surge como una estrategia relevante para la restauración ecológica y la conservación de ecosistemas, aunque aún presenta un bajo nivel de investigación y sistematización a nivel nacional.

El objetivo de este trabajo fue proponer una estrategia de conversión de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* a bosque nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, basada en evidencia científica obtenida mediante una revisión bibliográfica sistematizada y el análisis espacial a partir de datos LiDAR. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica siguiendo el método PRISMA, incorporando literatura científica internacional, nacional y literatura gris, con el fin de identificar los principales métodos de cosecha forestal utilizados en plantaciones y sus impactos sobre los servicios ecosistémicos. Los artículos seleccionados fueron clasificados según métodos de cosecha, tópicos de investigación y categorías y subcategorías de servicios ecosistémicos, de acuerdo con el enfoque del Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

De manera complementaria, se procesó un archivo LiDAR obtenido mediante un vuelo de dron sobre el rodal de estudio, lo que permitió generar modelos digitales del terreno y del dosel, estimar la densidad y distribución de árboles, analizar la pendiente del terreno y definir parcelas de muestreo forestal. Estos insumos espaciales fueron fundamentales para la delimitación de sectores homogéneos y la definición de tratamientos silviculturales diferenciados.

Los resultados de la revisión bibliográfica evidencian una marcada predominancia de estudios asociados al método de tala rasa, tanto a nivel global como nacional, y una escasa representación de métodos alternativos como la corta de retención variable y la corta selectiva. En términos de impactos, la tala rasa presenta mayoritariamente efectos negativos sobre los servicios ecosistémicos de regulación y soporte, especialmente sobre la biodiversidad, la regulación del agua y la formación del suelo. En contraste, la corta de retención variable muestra una mayor proporción de impactos neutros y positivos, particularmente en subcategorías asociadas a biodiversidad y regulación climática.

A partir de estos antecedentes, se diseñó una propuesta de conversión que considera la aplicación diferenciada de raleo, raleo de conversión y tala rasa, integrando variables topográficas, densidad arbórea, presencia de parches de bosque nativo y la autoecología de *P. menziesii*. Se concluye que una planificación basada en evidencia científica y apoyada en herramientas de teledetección permite disminuir los impactos sobre los servicios ecosistémicos y favorecer procesos de restauración y conversión hacia bosque nativo en áreas protegidas.

2. INTRODUCCIÓN

La explotación del bosque nativo en Chile tuvo un auge a partir del siglo XIX, en la zona norte la industria minera requería biomasa para fundir metales como el cobre y la plata, y se explotaron y despejaron extensas superficies de bosque (Droppelmann et al. 2019; Monje-Hernández et al. 2024). A principios del siglo XX, el panorama no fue muy distinto, se necesitaba habilitar nuevas superficies con fines agrícolas y se optó por utilizar distintas técnicas para despejar la cubierta vegetal de los terrenos de la zona centro – sur del país mediante el uso del fuego y métodos de tala selectiva que se enfocó en especies de alto valor maderero (Monje-Hernández et al. 2024; Vargas-Gaete et al. 2024; Armesto et al. 2010; Elizalde, 1970). Esta época de explotación maderera tuvo un boom con la introducción del transporte ferroviario, la creación de vías férreas y el uso de aserraderos con los cuales se intensificó la extracción de madera (Armesto et al. 2010; Monje-Hernández et al. 2024). El paisaje de Chile fue cambiando, los bosques descritos por los cronistas de la época desaparecieron, y los rendimientos de las nuevas tierras agrícolas disminuyeron (Elizalde, 1970).

A inicios del siglo XX el paisaje a nivel nacional se caracterizaba por presentar extensas superficies de suelo desarboladas (Barros-Asenjo et al. 2018) y estaba siendo afectado por la erosión del suelo y el aumento de la sedimentación de ecosistemas de agua dulce como ríos y lagos (Armesto et al. 2010). El desmonte que utilizaba el roce a fuego por parte de colonos era habitual en los territorios del sur de Chile (Instituto Forestal de Chile, 2009; Elizalde, 1970). Ante este escenario, el gobierno de la época decidió implementar políticas ambientales con el fin de promover la protección de las tierras severamente dañadas por la erosión y ecosistemas críticos (Armesto et al. 2010). En 1910 una de las primeras medidas fue contratar al silvicultor alemán Federico Albert que tuvo como misión evaluar la magnitud de la pérdida del suelo y asesorar sobre cómo controlar el problema. La primera propuesta consistió en la introducción de especies de rápido crecimiento como *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.* (Instituto Forestal de Chile, 2009; Armesto et al. 2010). El éxito en el establecimiento de estas especies en terrenos degradados llamó la atención del sector privado quienes incentivados por la Ley de Bosque Nativo de 1931 plantaron cerca de 8.000 hectáreas (Prado D., 2015). Paulatinamente las plantaciones forestales comenzaron a sustituir a los terrenos

agrícolas debido al alto valor de la forestación en relación con la agricultura convencional (Armesto et al. 2010).

Actualmente, Chile, se encuentra en el quinto lugar de los países con la mayor superficie de plantaciones en el continente americano, alcanzando ~3,1 millones de hectáreas (CONAF, 2024). Entre las especies exóticas plantadas en territorio nacional se encuentran: pino de monterrey (*Pinus radiata* (D. Don, 1986)) que representa el 59,9% de la superficie de plantaciones a nivel nacional especies del género *Eucalyptus* con 35,9% del total y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) con un 0,6% de superficie (pino oregón) (Salas et al. 2016; CONAF, 2024). También existen plantaciones de pino real americano (*Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws)) con un 0,7% de superficie (pino real americano) en la zona norte de la Patagonia. Todas estas plantaciones se encuentran distribuidas principalmente en la zona centro - sur, en el caso de las plantaciones de *P. radiata* se encuentran ubicadas en la Cordillera de la Costa y en las partes bajas de la cordillera de los Andes (i.e., 37° hasta 41° S; Salas et al. 2016; Toro y Gesell, 1999). Además de especies exóticas Chile cuenta con 6.500 hectáreas de plantaciones con especies nativas, principalmente del género *Nothofagus* como son las pioneras roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, 1871), raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst) y coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst, 1871) (Salas et al. 2016; Donoso, 2006).

Independientemente de si se componen de especies exóticas o nativas, a nivel global y local, las plantaciones forestales usualmente se manejan bajo prácticas silviculturales altamente intensivas en las cuales se aplican productos químicos, raleos sucesivos, cosecha a gran escala y mecanizada, todo ello con el fin de obtener altos volúmenes en un corto periodo de tiempo, inferior a los 18 años (Salas et al. 2016; Meneses & Guzmán, 2000). En cuanto a la selección de especies a plantar, ésta se realiza considerando las condiciones del sitio (climáticas y de suelo) y en algunos casos se desarrollan programas intensivos de mejoramiento genético que tiene como objetivo seleccionar plantas con alto valor genético a partir de ensayos de progenie (Rubilar et al. 2008). Mientras que el establecimiento de las plantaciones tradicionalmente consistió en el roce, quema y plantación manual, la cual ha evolucionado y actualmente en las grandes empresas se utiliza plantación mecanizada con un fuerte control químico de malezas al momento de plantar (Meneses & Guzmán 2000). Respecto al modelo de plantación, impuesto con la Ley Forestal de 1974, corresponde al monocultivo de especies como el *P. radiata* y especies del género *Eucalyptus* (Farris, 2021; Prado, 2015), los cuales son aprovechados mediante la aplicación de distintos métodos de cosecha también

conocidos como métodos de cosecha y regeneración, siendo estos: a) tala rasa, b) corta de protección, c) árbol semillero y/o d) corta selectiva (Donoso y Navarro, 2022), sin embargo, solo se aplica como cosecha final el método de tala rasa (Salas et al. 2016)

Salas et al. (2016) mencionan que los temas investigados de manera recurrente en materia de plantaciones forestales en Chile corresponden principalmente a: establecimiento de viveros, mejoramiento genético, manejo integrado de plagas, tratamientos silviculturales como aclareos y poda, planificación forestal, simulaciones de crecimiento y mercado de carbono, mientras que la investigación de bosque nativo está relacionada con la ecología y dinámica del bosque, genética y silvicultura. Se avanza en temas como la restauración de ambientes degradados mediante proyectos de investigación de empresas privadas y servicios públicos, sin embargo, la falta de financiamiento en estos temas sigue siendo un problema (Salas et al. 2016; Donoso y Promis, 2013). De acuerdo con lo expuesto anteriormente la conversión de plantaciones a bosque nativo es una de las temáticas que se encuentra poco estudiada y con un bajo nivel de financiamiento (Smith-Ramírez et al. 2015; BIONOSTRA, 2025).

En el año 2015 Chile se suscribió al Acuerdo de París y se comprometió con distintas acciones climáticas conocidas como Contribución Nacional Determinada (NDC). Entre las acciones se encuentra la creación de 200.000 nuevas hectáreas de bosque nativo y manejarlas sustentablemente, además de reducir en un 25% la degradación y deforestación del bosque nativo (Herrera & Soler, 2023). Si bien, en los últimos años se ha avanzado en estudios asociados a restauración de bosque nativo, existen pocos ejemplos sistematizados que hayan abordado la regeneración de especies nativas en plantaciones (Kremer et al. 2024), y menos proyectos a gran escala que se refieran a la conversión de superficies extensas de plantaciones forestales a bosque nativo en Chile

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo proponer la conversión de una plantación de *P. menziesii* a Bosque Nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, a partir de una revisión bibliográfica sistemática. Para ello se desarrolla una revisión sistematizada de la investigación científica asociada a métodos de cosecha forestal tanto a nivel internacional como nacional. Posteriormente se sistematizan los impactos documentados que dichos métodos generan sobre los recursos naturales y servicios ecosistémicos. Finalmente, considerando los antecedentes recopilados mediante la revisión bibliográfica sistemática, se elabora una propuesta de conversión de una plantación de *P. menziesii* a bosque nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta de conversión de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* a Bosque Nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, a partir de una revisión bibliográfica sistemática.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo específico 1: Generar una revisión bibliográfica sistematizada respecto a investigación científica asociada a los métodos de cosecha forestal de plantaciones a nivel internacional y nacional.
- Objetivo específico 2: Sistematizar los impactos de la cosecha de plantaciones sobre los servicios ecosistémicos, e identificar metodologías de conversión a bosque nativo en la literatura.
- Objetivo específico 3: Diseñar una estrategia de conversión de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* a bosque nativo en la RN Malalcahuello, basada en evidencia científica

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

4.1 METODOS DE COSECHA FORESTAL

“Los métodos silviculturales o métodos de cosecha y regeneración, ya que al cosechar se debe pensar en cómo se establecerá el futuro bosque por lo que son dos actividades que se desarrollan conjuntamente cuando se aplica un método silvicultural” (Donoso y Navarro, 2022). Corresponden a un proceso planificado en el cual se cuida, cosecha y restablece un rodal (Adams et al. 1994). Este proceso cuenta con un conjunto de acciones que se desarrollan en el rodal hasta llegar a la cosecha, las cuales nombran a los sistemas silviculturales o silvícolas, que corresponden a tala rasa, corta de protección, árbol semillero y corta selectiva o corta de selección (Instituto Forestal (Chile), 2009; Donoso y Navarro, 2022). Uno de los métodos alternativos a los antes mencionados corresponde a la corta de retención variable la cual tiene objetivos ecológicos de conservación de atributos del bosque (Martínez Pastur et al., 2020). Los métodos de cosecha pueden ser clasificados según la estructura de clase de edad que generan (Fig. 1), es decir, bosques coetáneos cuando los individuos son de edades iguales y bosques multietáneos cuando los individuos presentan edades desiguales (Hanewinkel, 2002, Adams et al, 1994), esta clasificación permite agrupar a los métodos de cosecha y regeneración en métodos coetáneos y multietáneos (Donoso y Navarro, 2022).

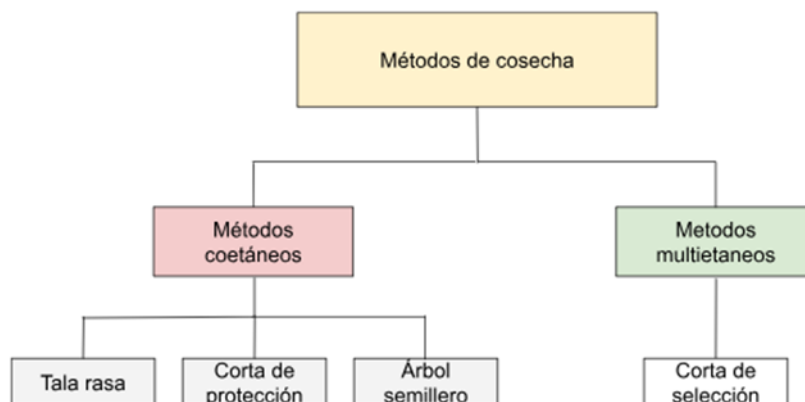


Figura 1. Esquema de los métodos de cosecha. Los métodos silviculturales o métodos de cosecha y regeneración pueden ser clasificados de acuerdo con la estructura de edad del bosque que generan, es así como los métodos coetáneos son aquellos que generan bosques de edades iguales y agrupan los sistemas silviculturales o silvícolas como: tala rasa, corta de protección y árbol semillero, mientras que los métodos multietáneos generan bosques de edades desiguales y contienen el sistema silvicultural “corta de selección” (Donoso y Navarro, 2022)

4.1.1 Métodos coetáneos

a) **Tala rasa:** Es un método de edad uniforme (Fig. 2), en el cual se cortan todos los árboles en una superficie definida mediante una intervención única, cuenta con una variante tala rasa en fajas con la cual se realiza fajas en la plantación generalmente sobre 40 m de ancho. El sitio queda en condiciones similares a la de un campo abierto y la regeneración futura se obtiene mediante regeneración natural o artificial (Adams et al., 1994; Donoso y Navarro, 2022).

b) **Corta de protección:** método que consiste en la corta de árboles con edades uniformes que tiene como objetivo dejar una cierta cantidad de árboles en la superficie cortada (Fig. 2), con el fin de proveer sombra parcial a la regeneración de especies con distintos grados de tolerancia que se está instalando bajo la cobertura de los árboles en pie (Donoso y Navarro, 2022; Instituto Forestal (Chile), 2009).

c) **Árbol semillero:** es un método de corta de árboles de edades uniformes que consiste en mantener un número determinado de individuos en la superficie cosechada (Fig 2), idealmente de manera uniforme con el fin de que estos puedan proveer una buena distribución de semillas en el área cortada (Donoso y Navarro, 2022).

2.1.2 Métodos multietáneos

d) **Corta de selección o corta selectiva:** este método corresponde al conjunto de cortas de cosecha y regeneración y cortas intermedias (Fig. 2) que se aplican a un rodal con el fin de generar un bosque multietáneo (Donoso y Navarro, 2022; Instituto Forestal (Chile), 2009)

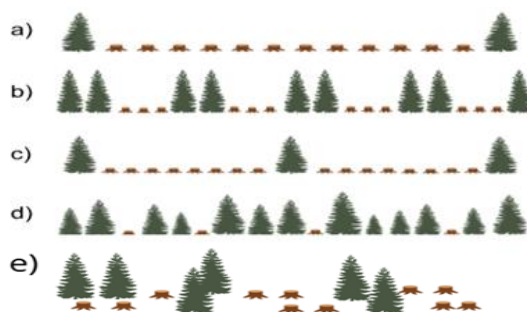


Figura 2. Representación de los métodos de cosecha. Se puede apreciar que la tala rasa y árbol semillero son los métodos con la menor cobertura arbórea, mientras que la corta de protección y corta selectiva son los métodos con mayor cobertura arbórea (Donoso y Navarro 2022)

e) **Corta de retención variable:** Puede considerarse como un método multietaneo aunque no cumple esa función necesariamente, tiene como objetivo retener los elementos estructurales del bosque durante la cosecha de regeneración para lograr objetivos específicos, buscando mantener la diversidad y otros servicios ecológicos del bosque (Martínez Pastur et al., 2020).

4.2 REVISION BIBLIOGRAFICA SOBRE METODOS DE COSECHA FORESTAL

La revisión bibliográfica sistematizada se realizó siguiendo el método PRISMA, utilizando palabras clave, conectores y buscadores con el fin de identificar publicaciones científicas indexadas sobre métodos de cosecha asociados a plantaciones forestales (Urrutia y Bonfill 2010). Para la revisión de literatura internacional se utilizó el metabuscador Scopus (i.e., www.scopus.com) con la siguiente entrada de palabras claves; ("Harvesting methods" OR "Harvesting treatment" AND ("Plantation" OR "forest" OR "clear cut" OR "selective logging" OR "selective cutting" OR "shelterwood cutting" OR "Strip cutting" OR "douglas fir")). Las palabras AND y OR corresponden a operadores booleanos los cuales ayudan a definir cómo interactúan los términos de búsqueda (Harling, 2025). Cuando se utiliza "AND" el buscador incluye todos los artículos que contengan los términos introducidos, mientras que "OR" combina dos o más términos diferentes e incluye artículos que contengan una u otra palabra, mientras que el uso de paréntesis permite agrupar términos evitando la procedencia de resultados inesperados (Avelar & Toro, 2018). Se consideró como filtro de búsqueda las palabras

claves presentes en el resumen, título, palabras claves de los autores. Para el rango de años se consideraron todos los artículos disponibles hasta el año 2025, no se agregó ningún filtro adicional.

La identificación de artículos nacionales se realizó de la misma manera añadiendo la palabra clave “Chile”. En este caso, con la idea de recabar más información respecto a trabajos y documentos sobre cosecha de plantaciones en Chile no indexados, se realizó una búsqueda de literatura gris entendida como aquellos documentos que no se difunde por los canales ordinarios de publicación comercial, y que plantea problemas de acceso, ejemplo de ello son las tesis de pre y posgrado, informes de investigación, informes técnicos y documentos de sociedades científicas (Formación Universitaria, 2011). Se utilizó el buscador bibliográfico Google Académico (scholar.google.com), el cual permite acceder a tesis, libros, resúmenes, artículos científicos e informes técnicos (Franco-Pérez, 2023), la base de datos del instituto Nacional Forestal que contiene publicaciones del sector forestal chileno y el mundo (i.e., INFOR, www.infor.cl), además de los repositorios de la Universidad de Chile (i.e., UChile, www.repositorio.uchile.cl), Universidad de Concepción (i.e., UdeC, www.repositorio.udec.cl) y Universidad Austral (i.e., UACH, www.biblioteca.uach.cl). Se utilizó el gestor de referencias bibliográficas Zotero 7.0.24 (64-bit) con el fin de gestionar los artículos científicos consultados (Toy-Opazo et al. 2024) y Rstudio versión 4.5.0

4.3 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS EN LOS MÉTODOS DE COSECHA FORESTAL

La selección de artículos se realizó mediante fases previas la cual consistió en la aplicación de dos criterios de exclusión: (1) tipo de documento, con ello se descartaron los reportes, revisiones y libros, solo se consideraron los artículos científicos (Toy-Opazo et al. 2024), esto con el fin de contar con información confiable, original y actualizada sobre los métodos de cosecha. (2) mención de los métodos de cosecha (tala rasa, corta de protección, árbol semillero y corta selectiva o corta de selección) en: a) resumen, b) palabras clave del autor, c) palabras clave indexadas y/o d) título. Todos los artículos científicos que cumplieron los requisitos definidos fueron posteriormente clasificados según los distintos métodos de cosecha forestal mencionados en el resumen (Fig. 3). La base de datos internacional contó inicialmente con 585 artículos la cual después de aplicar el criterio

de inclusión (1) se redujo a 498 artículos. La clasificación de artículos en métodos de cosecha se realizó con la nueva base de datos (n=498) con la que se obtuvo un n=112 artículos relacionados a los métodos de cosecha forestal. Posterior a la lectura del resumen, se presentaron artículos que investigaban más de un método de cosecha por artículo, por lo que cada mención de un método de cosecha distinto en uno de los ítems del criterio de inclusión (2) se consideró como un artículo adicional. Con ello la base de datos internacional pasó de un n=86 artículos a un n=113 registros. La base de datos de literatura gris a nivel nacional conto con un n=57 trabajos que luego de la aplicación de los criterios de inclusión paso a un n=26 trabajos, al momento de clasificar los trabajos en los métodos de cosecha forestal el n aumento a n=29 registros.

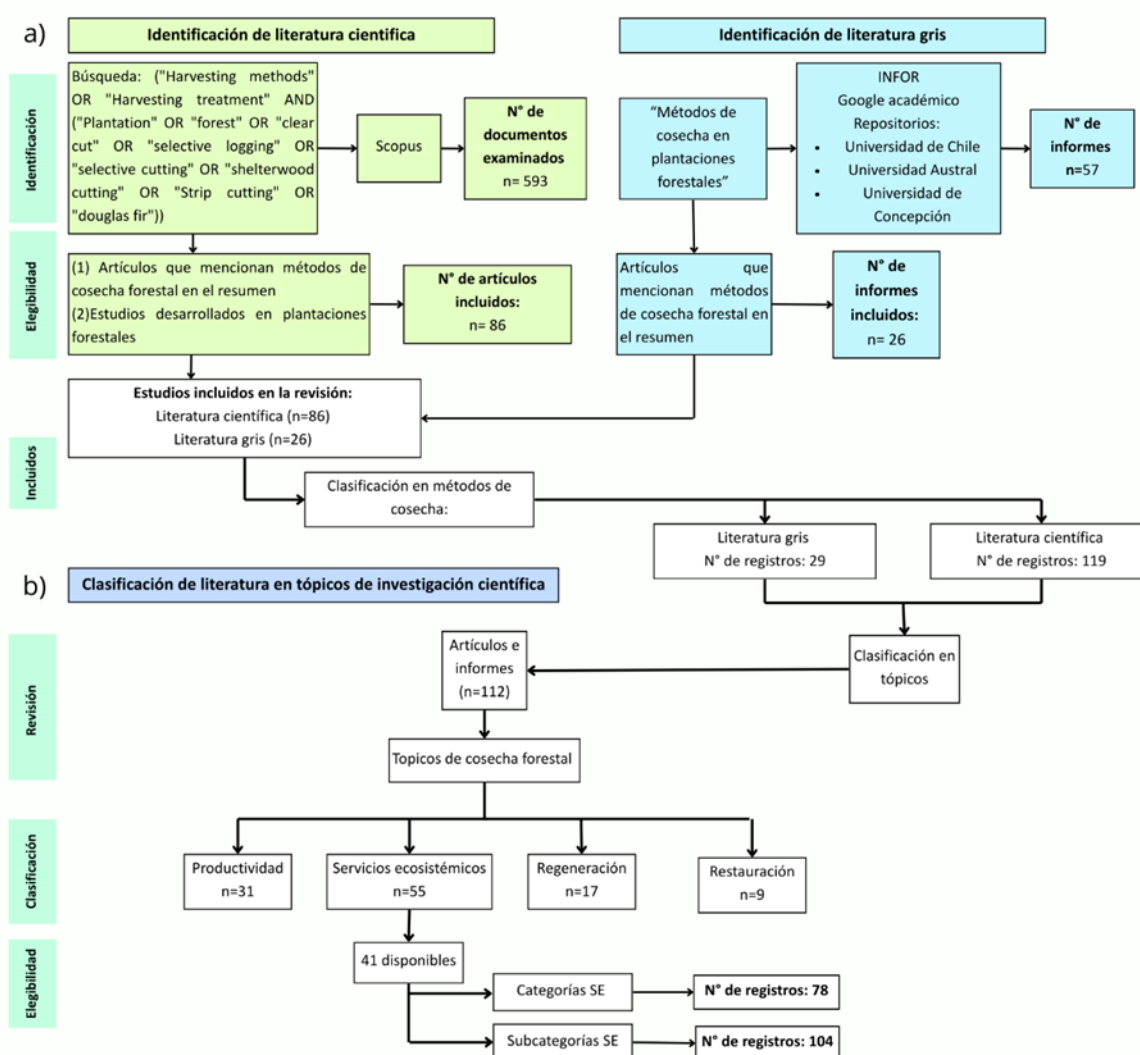


Figura 3. Diagrama de flujo. Representación las etapas de selección y posterior clasificación de artículos científicos. El diagrama consta de 2 etapas; (a) corresponde a la búsqueda de literatura científica a nivel global y nacional y la búsqueda de literatura gris a nivel nacional. Ambos cuentan con criterios de inclusión como la

menCIÓN de métodos de cosecha en el artículo (resumen, título, palabras indexadas) y que los estudios se hayan desarrollados en plantaciones forestales, además considera fases de identificación, elegibilidad e inclusión para la posterior clasificación en los métodos de cosecha forestal. (b) etapa que consiste en la identificación de artículos asociados a los métodos de cosecha forestal y que investigan tópicos relacionados a los servicios ecosistémicos, las fases consisten en la revisión de los artículos, clasificación en tópicos de investigación científica asociados y posterior elegibilidad de los artículos para ser clasificados en las categorías y subcategorías de servicios ecosistémicos y realizar el posterior análisis de impactos y efectos de la cosecha forestal. Adaptado de Toy-Opazo et al. (2024)

4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN COSECHA FORESTAL

A partir de la lectura del resumen, título, palabras clave del autor y palabras claves indexadas de los artículos científicos seleccionados tras la aplicación de los criterios (1), (2) y “selección” (Fig. 3), estos se clasificaron (n=112) arbitrariamente según los tópicos principales tratados en ellos, los cuales fueron: regeneración, productividad, restauración y servicios ecosistémicos.

Los artículos incluidos en la categoría de regeneración (n=17) presentaron palabras asociadas a: apertura de claros, cortas parciales o controladas, banco de semillas, métodos de cosecha, estrategias para la semillación, todas ellas orientadas a la regeneración de especies mediante los distintos métodos existentes de reproducción de bosque (Donoso, 2006; Instituto Forestal (Chile), 2009), o directamente mencionar la palabra regeneración ya sea en el resumen, título, palabras clave del autor y/o palabras clave indexadas. En el caso de la productividad (n=31) los artículos incluidos contaron con menciones a temas relacionados a los costos del transporte y cosecha, innovación tecnológica en el uso de maquinaria, rendimiento y ganancias (Sadanandan Nambiar, 1999). Los artículos asociados a restauración (n=9) presentaron palabras relacionadas a: disturbios, dinámica de bosques después de una perturbación, las acciones para recuperar los ecosistemas a cómo eran antes de la perturbación (Sociedad Internacional de Restauración, SER, 2004) y/o mencionan “restauración” en el resumen. Los artículos incluidos en servicios ecosistémicos (n=55) mencionaron palabras asociadas a los servicios de regulación, soporte, culturales y/o provisión (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) como son biomasa, biodiversidad, diversidad, índices de

diversidad, suelo, abundancia de especies, agua, ciclo de nutrientes, captura de carbono, temperatura entre otras, presentes ya sea en el resumen, título, palabras clave del autor y palabras clave indexadas que proporcionan los artículos científicos.

4.5 IMPACTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El análisis se realizó con los artículos asociados al tópico servicios ecosistémicos que inicialmente contaba con un $n=41$ a nivel internacional que se sumó a los artículos nacionales $n=14$ obteniendo un tamaño final de $n=55$. Los artículos seleccionados y disponibles $n=40$ se clasificaron en categorías y subcategorías descritas por el Millennium Ecosystem Assessment (i.e., MEA, www.millenniumassessment.org) (Fig. 4). La clasificación en categorías se realizó a partir de la lectura completa del artículo. Para que un artículo fuera clasificado en una de las categorías de servicios ecosistémicos debía incluir investigación asociada a una de las subcategorías de ese servicio, es así como los artículos que incluyeron investigación asociada a una de las subcategorías de soporte (Fig. 4) automáticamente fue clasificado en la categoría de soporte y así con las siguientes categorías. Luego de la lectura de los artículos, se presentaron artículos que investigaron más de una categoría de servicio ecosistémico por lo que cada subcategoría adicional investigada en un artículo se consideró como un registro por lo que el tamaño pasó de un $n=40$ artículos a un $n=78$ registros en esta etapa.

La clasificación en subcategorías se realizó mediante la relación de la investigación presentada en los artículos con la subcategoría más adecuada para representarlo. Es así como los artículos relacionados a la subcategoría ciclo de nutrientes presentaron investigación relacionada al movimiento de nutrientes orgánicos e inorgánicos (Odum, 1986). Los artículos asociados a la subcategoría productividad primaria presentaron investigación asociada a la actividad fotosintética de las plantas (Odum, 1986). Artículos relacionados a la formación del suelo presentaron investigación relacionada a las características del suelo, compactación, presencia de materia orgánica (FAO, 1996). Los artículos asociados a la subcategoría biodiversidad investigaron temas relacionados a la diversidad de especies, abundancia de especies de flora y fauna en los ecosistemas cosechados (Convention on Biological Diversity, 1992). Los artículos relacionados a la subcategoría regulación de plagas y enfermedades desarrollaron investigación asociada a la presencia de insectos

dañinos para las plantas al utilizar métodos de cosecha (Secretaría de la CIPF, 2022). Los artículos relacionados a la subcategoría regulación del clima desarrollaron investigación asociada a variables ambientales como la temperatura, humedad y velocidad del viento después de la aplicación del método de cosecha (Corredor-Camargo et al, 2012; IPCC, 2002). Los artículos asociados a la subcategoría de regulación de inundaciones realizaron investigación asociada al nivel del caudal, temperatura del agua entre otros (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Corredor-Camargo et al, 2012; Krauze & Wagner, 2007), mientras que los artículos relacionados a la subcategoría biomasa definida como el peso de materia orgánica presente en un determinado ecosistema forestal (Gayoso et al. 2000) incluyó investigación asociada a la biomasa forestal que queda después de la cosecha como restos leñosos, ramas, troncos entre otros.

Posterior a la clasificación de los artículos en subcategorías, se presentaron artículos que investigaron más de una subcategoría de servicio ecosistémico por lo que el tamaño pasó de un n=78 registros en la etapa de clasificación en categorías a un n=104 registros en la etapa de clasificación en las subcategorías de servicios ecosistémicos.

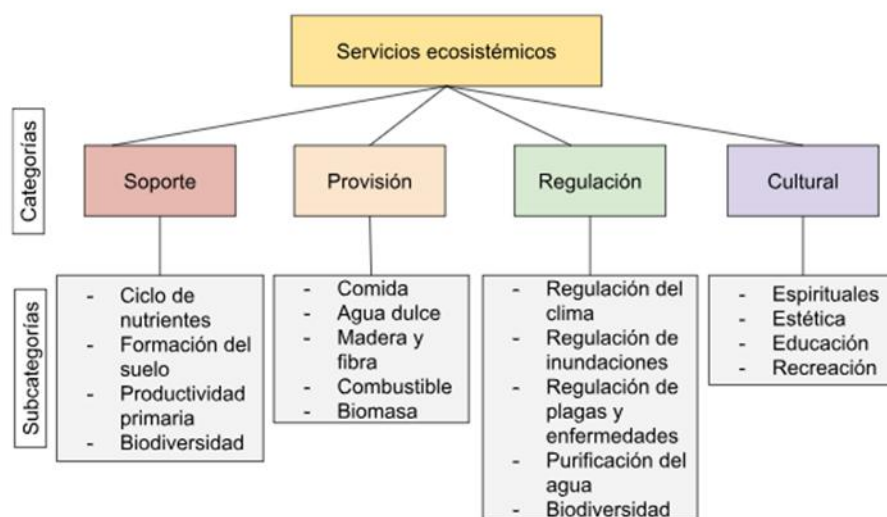


Figura 4. Esquema de los servicios ecosistémicos. Representación de cómo se clasifican los servicios ecosistémicos en sus respectivas categorías; soporte, provisión, regulación y cultural, además de la influencia sobre los distintos procesos, elementos del medio ambiente. Adaptado de MEA (2005)

4.6 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO: RESERVA NACIONAL MALALCAHUELLO

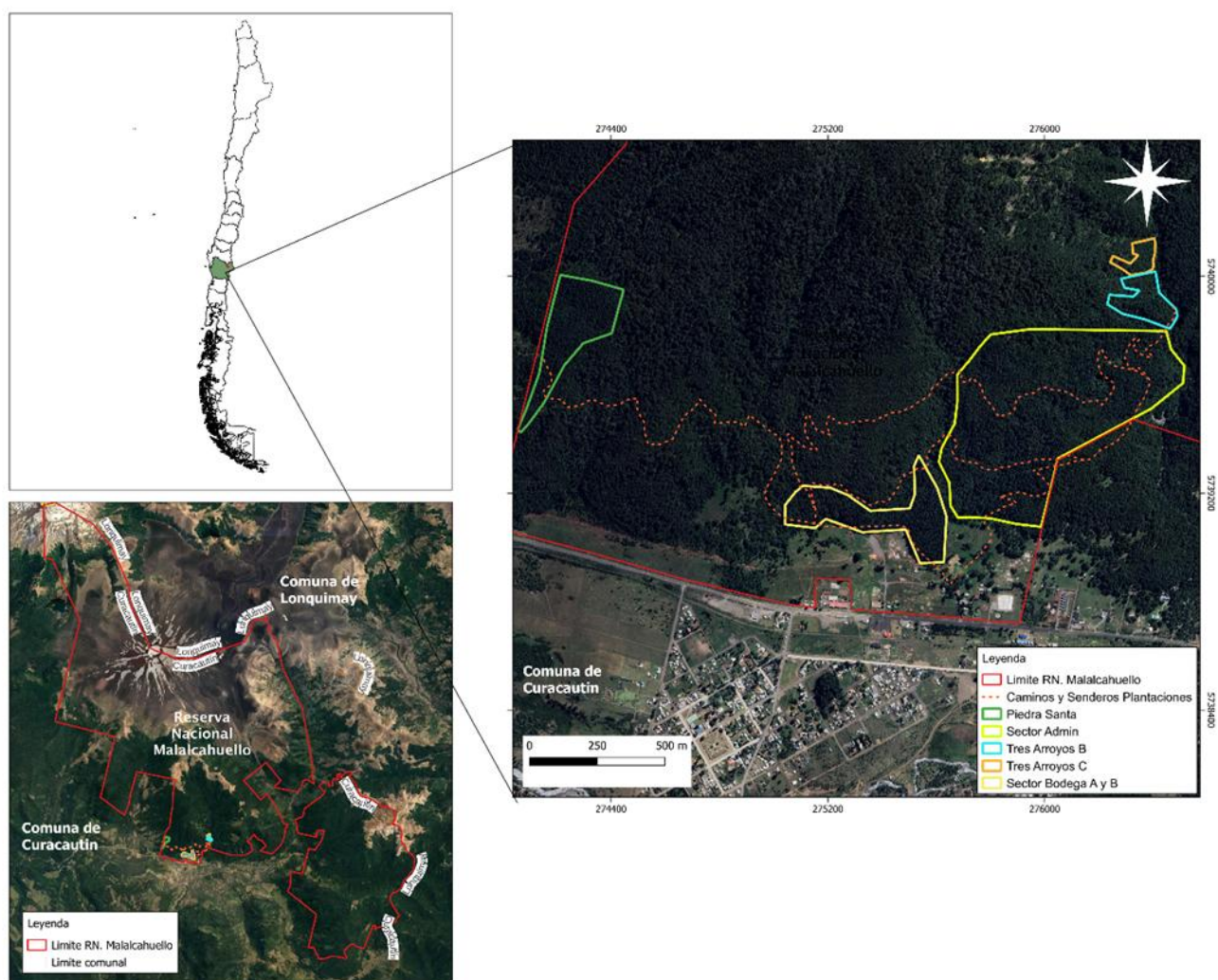


Figura 5. Ubicación de la Reserva Nacional Malalcahuello.

La Reserva Nacional Malalcahuello que se traduce del mapudungun como “Corral de Caballos” formaba parte de los territorios bajo control Mapuche-Pewenche (Bengoa, 1999) se encuentra ubicada en la cordillera de los andes de la Región de La Araucanía, en la comuna de Curacautín, provincia de Malleco ($71^{\circ} 28'$ y $71^{\circ} 35'$ O, $38^{\circ} 23'$ y $38^{\circ} 23'$ y $38^{\circ} 30'$ S) (CONAF, 2025; Bravo-Vargas et al. 2019). El clima es mediterráneo - húmedo, con una temperatura media anual de $8,5^{\circ}\text{C}$. Hay nieve en las zonas más altas durante el invierno y escasas precipitaciones durante los meses de

verano, enero y febrero. Las precipitaciones anuales varían de 2.000 a 3.000 mm (Cóbar-Carranza et al. 2014; Blume et al. 2009). La topografía en la reserva es accidentada, con elevaciones que fluctúan entre los 500 m.s.n.m. (en el sector de la administración de la Reserva) y los 2.806 m.s.n.m. (en el Volcán Lonquimay), donde destaca la presencia del Volcán Lonquimay en el cual se encuentra la formación de montañas denominada Sierra de los Colorados y Los Cerros de Huamachuco (CONAF, 1996).

La reserva contiene muestras representativas de los bosques altoandinos de *Araucaria* (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, 1869), y del bosque mixto caducifolio de *Nothofagus* (CONAF, 1996). El bosque de tipo *Araucaria* se encuentra con Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser, 1896) y *N. dombeyi* en elevaciones altas, y *N. obliqua* – *N. alpina* - *N. dombeyi* en elevaciones más bajas (Blume et al. 2009). Los suelos de la Reserva Nacional Malalcahuello se clasifican como grises pardos podzólicos, aunque en algunas partes presentan una capa de escoria volcánica de la cual ha derivado un suelo más delgado y de calidad inferior, que en las cumbres forman grandes arenales sin vegetación (CONAF, 1996).

El rodal que se va a intervenir corresponde a la unidad “Sector bodega A y B”, cuenta con una superficie de 8,7 ha. En 1965 se plantaron individuos de pino oregón y pino real americano, además se establecieron plantaciones de Cipres de Lawson (*Chamaecyparis lawsoniano* (A. Murray) Parl) y Pino oregón que fueron establecidas entre los años 1965 a 1971 (CONAF, 2025)

4.6.1 Autoecología de la especie

El pino oregón es una especie monoica que naturalmente se distribuye en América del Norte (Quiroz & Rojas, 2003). Es un árbol que puede alcanzar alturas de 50 a 60 metros y, en ocasiones, 90 metros (Kannegiesser, 1988); puede alcanzar diámetros de 2 a 5 metros a la altura del pecho y edades de 800 a 1000 años (Burmeister, 2017; Loewe et al. 1996). Los individuos comienzan su producción de semillas alrededor de los 12 a 15 años, mientras que la maduración inicia a mediados o fines de verano (Loewe et al., 1996; Quiroz & Rojas, 2003). Las semillas se caracterizan por ser pequeñas y aladas; se dispersan por el viento y crecen rápidamente cuando las condiciones de luz y humedad son adecuadas (Kannegiesser, 1989). Es una especie que crece en distintos tipos de suelos, principalmente en suelos podzólicos pardos, pardos, pardos lateríticos y pardos forestales (Quiroz

& Rojas, 2003). Requiere un alto contenido de humedad del aire y del suelo, cuenta con una tolerancia media a la sombra y es muy intolerante a la competencia de raíces (Loewe et al. 1996).

4.7 PROCESAMIENTO ARCHIVO LIDAR

Se realizó un vuelo de drone modelo DJI Matrice 350 RTK en el rodal denominado Sector Bodega A y B al interior de la Reserva Nacional Malalcahuello, durante el mes de septiembre del año 2025. El vuelo generó un archivo de tipo LiDAR Light Detection and Ranging. LiDAR es un método de teledetección que utiliza luz en forma de láser que envía pulsos con el fin de medir distancias variables a la Tierra que, sumado a otros datos registrados en sistemas aéreos, generan información tridimensional precisa sobre la forma de la Tierra y las características de su superficie (NOAA, 2024). El procesamiento de la nube de puntos LiDAR fue realizado en Rstudio versión 4.5.0 utilizando las librerías `lidR`, `terra`, `sf` y `dplyr`. A partir del procesamiento del archivo se obtuvo un DTM, que representa la elevación del terreno del rodal (Wasser, 2024) y DSM, el cual representa la elevación de las superficies más altas en el rodal incluyendo elementos presentes como infraestructura, vegetación entre otros (Wasser, 2024) luego se realizó la resta de ambos (DSM-DTM) para obtener un CHM, el cual representa la diferencia entre un DSM y un DTM y permite obtener las alturas de los elementos que existen en el DSM, por ejemplo; la altura de edificios y vegetación (Wasser, 2024). Finalmente, una vez generado el CHM, este fue procesado y se obtuvo un archivo de tipo shapefile que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geométricas, las cuales pueden ser representadas por medio de puntos, líneas o polígonos (Esri, 2021), en este caso el archivo shapefile generado corresponde a geometría de puntos que contiene la información de la altura y las coordenadas (x, y) de los árboles presentes en el rodal.

Con los pasos anteriores completados se realizó el cálculo de la densidad de árboles para el rodal de estudio se realizó mediante la herramienta Heatmap disponible en Qgis versión 3.34.8, el cual corresponde a una técnica de interpolación útil para determinar la densidad de las entidades de entrada (Ghandi, 2024). La elaboración de estos mapas es una buena herramienta para tener una aproximación de cómo se agrupan los puntos (Morales, 2018; QGIS, 2024). Esta herramienta solicita definir un radio para cada punto con el fin de generar focos de densidad. Se asignó un radio de 15m, el cual permite tomar en cuenta valores altos como bajos (Sylverman, 1986). Para obtener el

heatmap se utilizó el shapefile con geometría de puntos generado en el paso anterior y con ello se obtuvo la densidad de árboles para el rodal “Sector Bodega A y B”.

Con el procesamiento del archivo LiDAR se obtuvo las curvas de nivel de 50 cm. El mapa de pendiente fue elaborado mediante curvas de nivel de 50 cm, obtenidas a partir del vuelo drone modelo DJI Matrice 350 RTK realizado en el mes de septiembre del año 2025. Se asignaron 4 categorías de pendiente; 0-30%, 31-45%, 46-60% y $\geq 60\%$. La asignación de las categorías de pendiente en porcentaje se obtuvo de los rangos que solicita CONAF en sus planes de manejo de plantaciones y planes de manejo de preservación (CONAF, 2021).

4.8 PARCELAS DE MUESTREO

Con el objetivo de definir las parcelas de muestreo en el rodal de estudio se elaboró una cuadrícula con cuadros de 20x25 metros para el rodal mediante el uso de la herramienta de investigación de tipo vectorial denominada “cuadrícula”, la cual permite generar una cuadrícula con las dimensiones cubriendo una extensión dada, los elementos de la cuadrícula pueden ser puntos, líneas o polígonos y el tamaño y/o ubicación de cada elemento de la cuadrícula está definido usando espaciado vertical u horizontal (QGIS, 2024). Esta herramienta se encuentra disponible en el software QGIS versión 3.34.8. Una vez generada la cuadrícula se utilizó la herramienta “cortar” para obtener la cuadrícula a la medida del rodal “Sector Bodega A y B”. Luego se realizó el cálculo de la densidad de árboles para cada uno de los cuadros de 20x25 metros (500 m²) mediante la herramienta de análisis “contar puntos de polígono” la cual realiza un conteo de los puntos contenido en cada polígono de la capa objetivo (QGIS, 2024), que en este caso corresponde a la capa generada en el paso anterior denominada “cuadrícula”. Ya con la densidad de puntos para cada cuadro se realizó una clasificación de la densidad en 5 clases de intervalos iguales.

Una vez ajustada la cuadrícula al tamaño del rodal se realizó el cálculo de la superficie de cada cuadro y solo se consideraron aquellos con superficies igual a 500 m² (véase Anexo 2). Una vez obtenidos, los cuadros de 500 m² potencialmente seleccionables y la densidad de árboles para cada uno de ellos, se realizó una selección aleatoria de 2 cuadros de 500 m² por cada una de las 5 categorías de densidades obtenidas en el paso anterior. Esto fue realizado mediante la creación de un campo en la tabla de atributos de la cuadrícula y la generación de valores aleatorios con un código en la calculadora de campos de QGIS. Luego los cuadros fueron seleccionados

aleatoriamente mediante la herramienta “Selección por expresión”. En total se seleccionaron 10 cuadros.

Este procedimiento se realizó con el fin de seleccionar las parcelas de estructura forestal que se utilizaran para levantar información sobre la regeneración bajo dosel y posterior monitoreo según las categorías de densidad arbórea identificadas en los pasos anteriores al interior del rodal de estudio.

4.9 TRATAMIENTOS

A partir de la fotointerpretación del uso de suelo para el rodal de estudio, la revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales (Nahuelan, 2025) y una revisión sobre la autoecología del pino oregón, se proponen 3 tratamientos de cosecha en el rodal “Sector Bodega A y B” que cuenta con una superficie de 8,7ha. Los tratamientos consisten en un raleo; en zonas con presencia de plantaciones y parches de bosque nativo (bosque mixto), tala rasa; en zonas con plantaciones puras de pino oregón y un raleo de conversión; en zonas con plantación de pino oregón que se encuentre distante a los rodales de bosque mixto.

Como se describió anteriormente, el pino oregón crece en condición de semisombra y presenta una alta densidad cerca de la fuente de propágulos, por lo que se propone implementar una tala rasa de 90 a 100 metros entre los rodales de bosque mixto y plantación pura de pino oregón con el fin de controlar la regeneración de pino cercana a la fuente de propágulos. En el sector donde se implementará el raleo de conversión se propone una apertura gradual del dosel cercana al 20% con el fin de evitar el crecimiento de la regeneración de pino oregón, se encuentra documentado que la regeneración de esta especie es exitosa con un 50 a 70% de luminosidad (Loewe et al. 1996). En los sectores correspondiente a bosque mixto, se aplicará un raleo donde se cortarán todos los individuos de pino oregón, procurando no dañar la regeneración y árboles nativos presentes en el rodal.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 REVISIÓN DE LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE MÉTODOS DE COSECHA FORESTAL

5.1.1 Literatura a nivel global

La revisión de literatura relacionada a métodos de cosecha en plantaciones de tipo forestal dio como resultado un total de 112 artículos (100%), de ellos el 73% (n= 82) corresponde a literatura científica a nivel global mientras que el 27% (n=30) se encuentra asociado a literatura científica (n=4) y literatura gris (n=26) a nivel nacional (Fig 6).

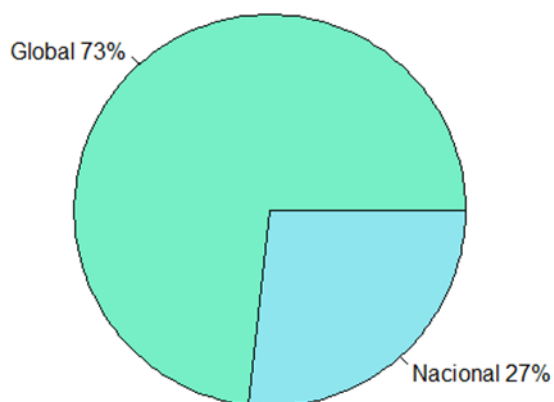


Figura 6. Número de trabajos asociados a la búsqueda de literatura tanto a nivel global como nacional. El n se encuentra representado en % y corresponde al número de publicaciones relacionadas a los métodos de

cosecha en plantaciones forestales en base a criterios establecidos. La búsqueda internacional se centró en artículos científicos, mientras que la nacional contó con una búsqueda de literatura gris y científica.

5.1.2 Investigación sobre métodos de cosecha y regeneración

La búsqueda de literatura científica a nivel global asociada a métodos de cosecha en plantaciones y posterior clasificación en métodos de cosecha dio como resultado un total de 113 registros (Fig. 7). La tala rasa con 63 registros es el método que cuenta con la mayor cantidad de estudios asociados a métodos de cosecha en plantaciones, seguido muy de lejos por los métodos de cosecha; corta selectiva (20 registros), corta de retención variable y corta de protección (12 registros). Ya en último lugar se encuentra la tala rasa en fajas con solo 6 registros asociados a literatura científica.

La búsqueda de literatura científica a nivel nacional dio como resultado valores muy lejanos comparados a búsqueda global, con solo 6 registros (Fig. 7) asociados a métodos de cosecha en plantaciones forestales. Del total, 4 registros se encuentran asociados al método de tala rasa y 2 a tala rasa en fajas. A diferencia de la búsqueda a nivel global, no hay registros asociados a métodos como la tala selectiva, corta de retención variable y corta de protección.

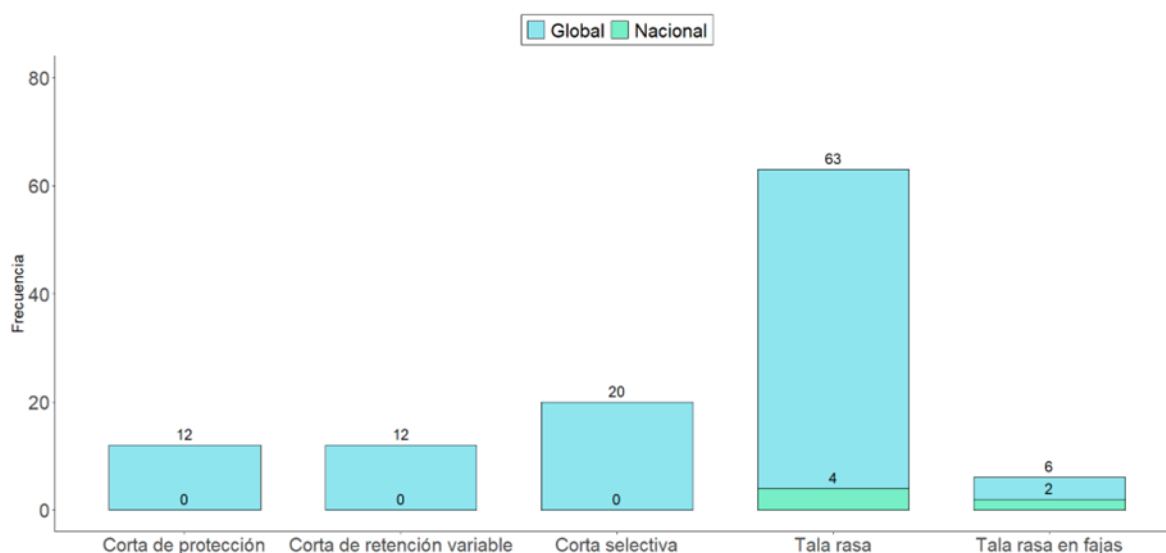


Figura 7. Número de registros asociados a los cinco métodos de cosecha mencionados en la literatura científica a nivel global y nacional. El N° de registros se obtuvo a partir de la búsqueda, aplicación de criterios establecidos y posterior clasificación en los métodos de cosecha; a) corta de protección, b) corta de retención

variable, c) corta selectiva, d) tala rasa y e) tala rasa en fajas. A nivel global el número de artículos científicos asociados a métodos de cosecha asciende a un $n=82$, que luego de la clasificación en los métodos de cosecha se obtuvo un total de $n=113$ registros, mientras que el número de artículos científicos a nivel nacional consistió en un $n=4$ que luego de la clasificación en los métodos de cosecha ascendió a un total de $n=6$ registros.

La búsqueda de literatura gris a nivel nacional asociada a métodos de cosecha en plantaciones forestales, y posterior clasificación en métodos de cosecha dio como resultado un total de 29 registros (Fig. 8), siendo la tala rasa el método de cosecha frecuente en la literatura con 25 registros, seguido por 2 métodos, corta de protección y tala rasa en fajas, con solo 2 registros para cada método. Destaca la ausencia de registros asociada a métodos como la corta de retención y corta de selectiva.

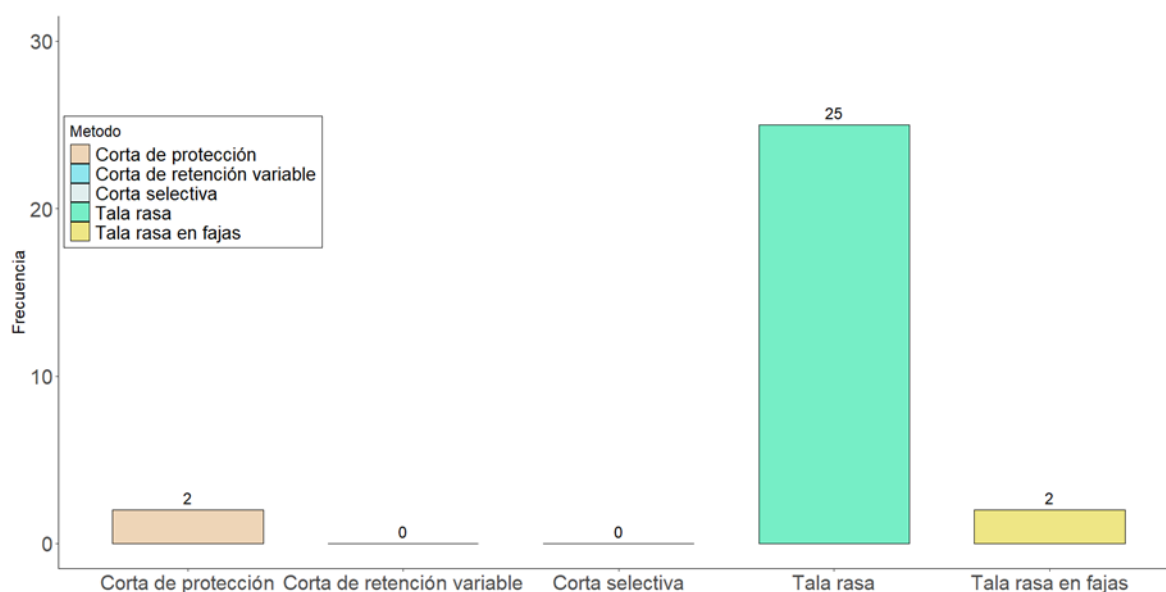


Figura 8. Número de registros asociados a métodos de cosecha forestal en la búsqueda de literatura gris a nivel nacional. El número de trabajos relacionados a métodos de cosecha en la búsqueda de literatura gris asciende a $n=26$, que luego de la clasificación en los métodos de cosecha; a) corta de protección, b) corta de retención variable, c) corta selectiva, d) tala rasa y e) tala rasa en fajas, se obtuvo un total de $n=29$ registros.

5.2 TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN EN LA LITERATURA CIENTÍFICA ASOCIADOS A LA COSECHA FORESTAL

5.2.1 Tópicos a nivel global

A nivel global se obtuvo un total de 82 artículos (Fig 9) que desarrollan investigación sobre tópicos relacionados al uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales. Los Servicios ecosistémicos destacan como un tópico frecuente a la hora de realizar investigación en plantaciones forestales. En una segunda línea, con menos de la mitad de las publicaciones asociadas, se encuentran los tópicos de productividad y regeneración con un $n=19$ y $n=17$, respectivamente. Mientras que el tópico de restauración es el que posee la menor cantidad de artículos asociados cuando se investiga sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales.

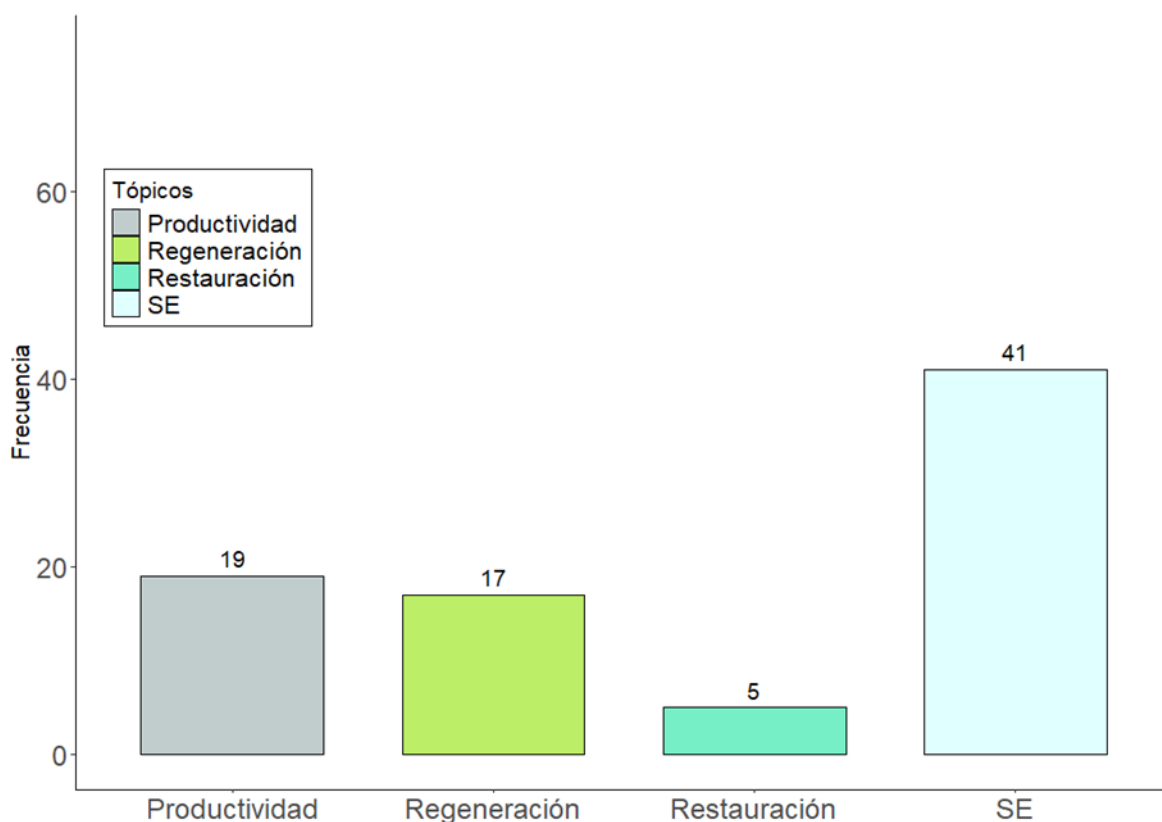


Figura 9. Número de artículos científicos a nivel global asociados a los métodos de cosecha en plantaciones. Estos artículos reportan hallazgos sobre los tópicos de; a) productividad, b) regeneración, c) restauración, d) servicios ecosistémicos (n=82). La cantidad de artículos mostrados en el gráfico corresponde a la base final obtenida a partir de los criterios establecidos (artículos científicos, mención de métodos de cosecha y estudios desarrollados en plantaciones).

5.2.2 Tópicos a nivel nacional

A nivel nacional la cantidad de literatura científica que desarrolla investigación asociada a tópicos utilizando distintos métodos de cosecha en plantaciones forestales asciende a un n=4 (Fig. 10), de los cuales 2 están relacionados a investigación sobre restauración utilizando distintos métodos de cosecha y tan solo 1 asociado a los tópicos de productividad y Servicios ecosistémicos. Mientras que la literatura gris cuenta con un total de 26 trabajos (Fig. 10), de los cuales 13 se encuentran asociados a investigación sobre el tópico de Servicios ecosistémicos mediante el uso de métodos de cosecha,

11 corresponden al tópico de productividad y tan sólo 2 artículos asociados al tópico de restauración. El tópico de regeneración mediante el uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales no cuenta con artículos científicos y literatura gris a nivel asociada, como sí ocurre a nivel global.

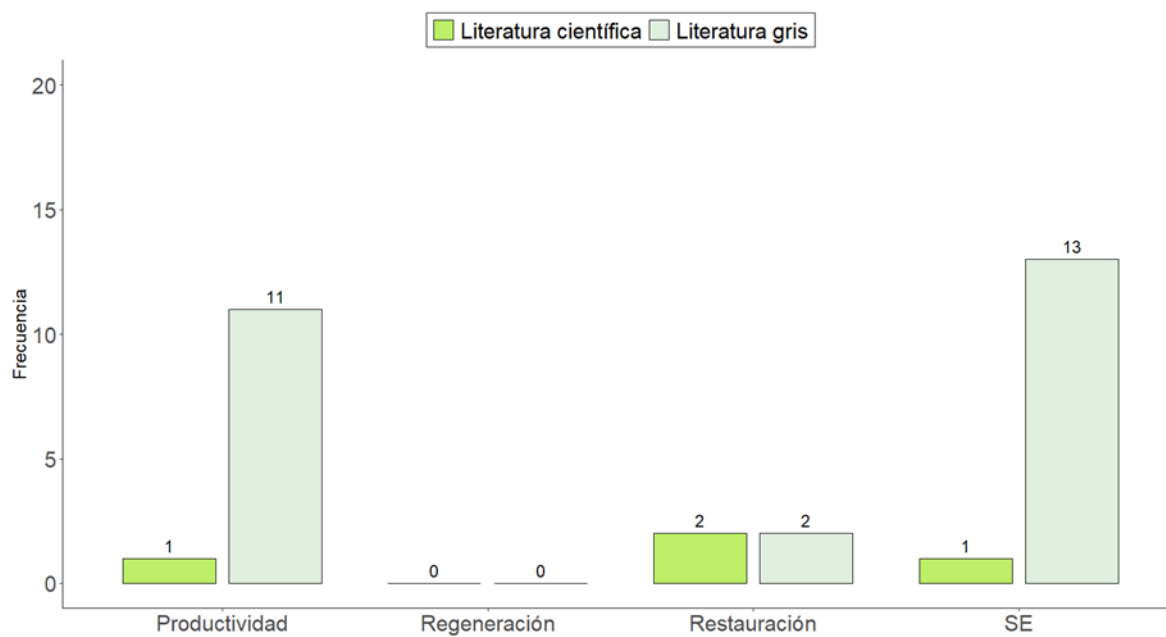


Figura 10. Número de artículos asociados a tópicos que desarrollan investigación mediante el uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales. Los artículos presentados son el resultado de la búsqueda a nivel nacional tanto de literatura gris como científica los cuales se clasificaron en los 4 tópicos presentados.

5.3 IMPACTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

5.3.1 Categorías

El 50% de los registros asociados al método de corta de retención variable desarrolló investigación de los impactos de la cosecha sobre los servicios ecosistémicos de soporte y solo el 11,1% investigó el impacto sobre los servicios ecosistémicos de provisión (Fig. 11). El 52,6% de los registros relacionados al método de cosecha de tala rasa reportaron impactos sobre los servicios de regulación y solo el 3,5% provisión. Mientras que los artículos científicos asociados a la tala en fajas solo investigaron los impactos sobre los servicios ecosistémicos de regulación y soporte, mientras que el servicio de provisión no cuenta con investigación asociada.

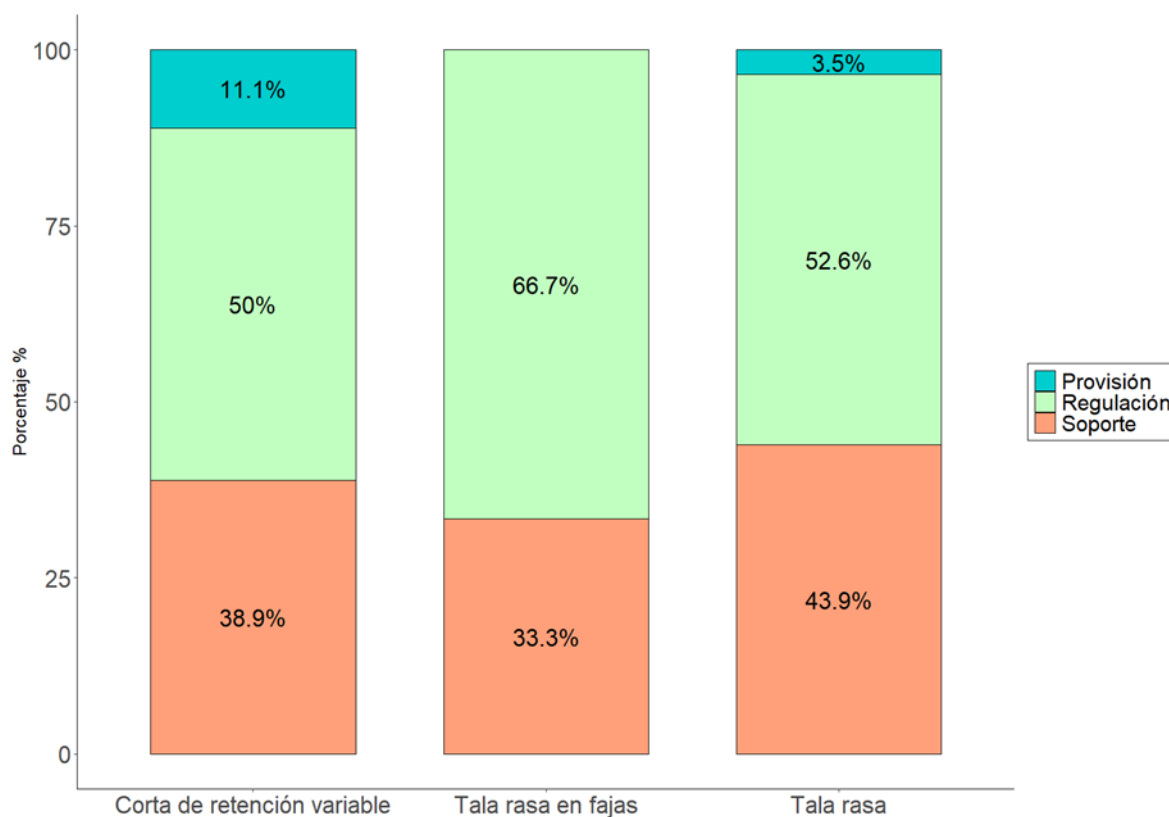


Figura 11. Impactos de tres métodos de cosecha forestal; corta de retención, tala rasa en fajas y tala rasa, sobre las categorías de servicios ecosistémicos; provisión, regulación y soporte. El gráfico en porcentajes representa el número de registros asociados a los impactos de la cosecha. El número de registros representado asciende a n= 78 de los cuales n=18 corresponden al método de corta de retención variable, n=3 se encuentran asociados a la tala rasa en fajas y n=57 a la tala rasa. Los registros asociados a la corta de retención variable se componen de; provisión n=2, regulación n=9 y soporte n=7. Los registros asociados a la tala rasa en fajas se componen de; regulación n=2 y soporte n=1, mientras que los registros de la tala rasa se componen de; provisión n=2, regulación n=30 y soporte n=25.

5.3.2 Subcategorías

El 48% de los registros asociados al método de corta de retención variable desarrolló investigación relacionada a los impactos de la cosecha sobre la biodiversidad y solo el 4% los impactos sobre la formación del suelo (Fig. 12). La investigación desarrollada mediante el uso del método de tala rasa en fajas asociada principalmente a 2 subcategorías de servicios ecosistémicos, el 66,7% de los registros corresponden al servicio ecosistémico de biodiversidad, mientras que el 33,3% restante a estudios sobre la regulación de inundaciones. Los registros relacionados al impacto de la tala rasa desarrollan investigación sobre los servicios ecosistémicos, biodiversidad con un 44,7% y en menor medida los impactos sobre la productividad primaria 2,6%, purificación del agua 2,6% y biomasa con un 3,9%

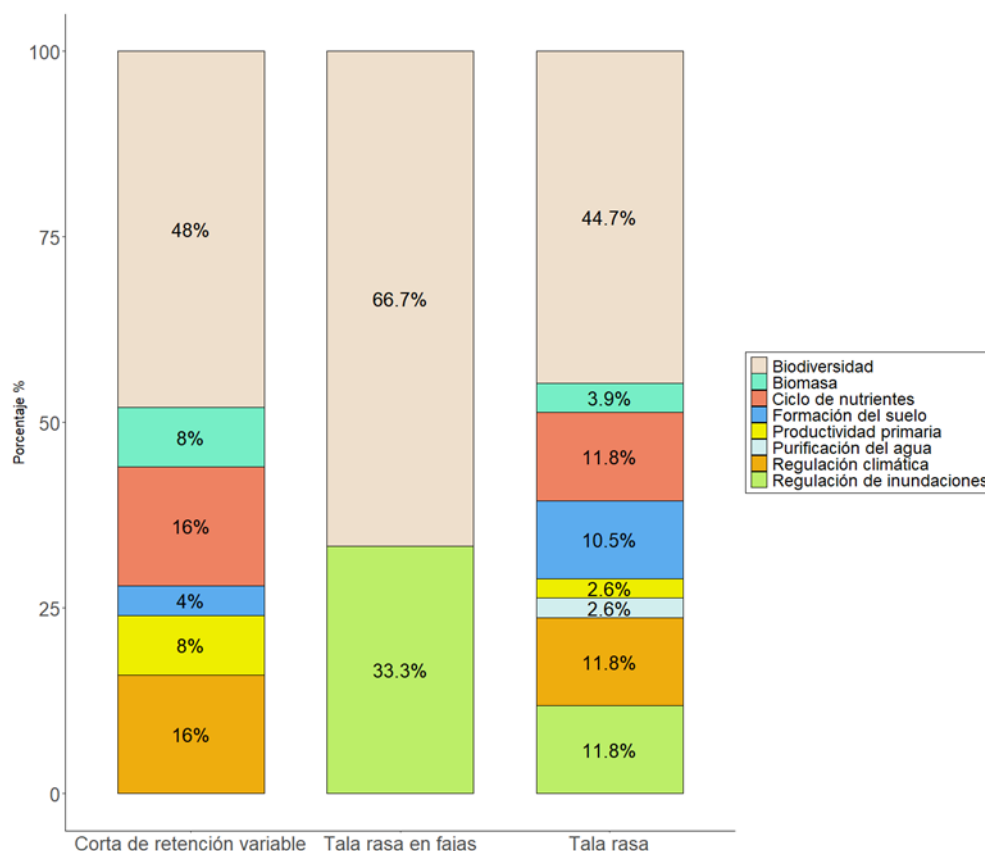


Figura 12. Impactos de distintos métodos de cosecha forestal; corta de retención variable, tala en fajas y tala rasa, sobre las subcategorías; a) biodiversidad, b) biomasa, c) ciclo de nutrientes, d) control de plagas, c) formación del suelo, d) productividad primaria. El gráfico en porcentajes representa el número de registros asociados a los impactos de la cosecha. El número de registros representado asciende a n=104 de los cuales n=25 corresponden al método de corta de retención variable, n=3 se encuentran asociados a la tala rasa en fajas y n=76 a la tala rasa. Los registros asociados a la corta de retención variable se componen de; biodiversidad n=12, productividad primaria n=2, biomasa n=2, regulación climática n=4, ciclo de nutrientes n=4 y formación del suelo n=1. Los registros asociados a la tala rasa en fajas se componen de; biodiversidad n=2 y regulación de inundaciones n=1, mientras que los registros de la tala rasa se componen de; Biodiversidad n=34, formación del suelo n=8, regulación climática n=9, biomasa n=3, productividad primaria n=2, regulación de inundaciones n=9, ciclo de nutrientes n=9 y purificación del agua n=2.

5.4 EFECTOS DE LA COSECHA FORESTAL SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

5.4.1 Subcategorías de servicios ecosistémicos

a) Tala rasa

Los artículos revisados reportan impactos de la tala rasa sobre 8 de las 18 categorías anteriormente descritas. La subcategoría biomasa cuenta con una gran cantidad de impactos neutros después de la cosecha con un 66,7% y solo 33,3% de impactos negativos. La productividad primaria cuenta con impactos tanto positivos como neutros (Fig. 13). Solo 3 subcategorías fueron afectadas positivamente por la tala rasa, las cuales corresponden a productividad primaria que en los artículos revisados en el 50% de ellos reportaron efectos negativos, mientras que el 50% restante reportó efectos positivos, la formación del suelo que presenta reportes positivos (16,7%), negativos (66,7%) y neutros (16,7%) y el ciclo de nutrientes que también reporta impactos positivos (25%), negativos (50%) y neutros (25%) en los artículos revisados. Las subcategorías con la mayor cantidad de reportes de efectos negativos son regulación del agua con un 77,8% de los artículos revisados y purificación del agua con el 100% de los artículos. Una de las subcategorías que tiene impactos negativos y neutros similares corresponde a Biodiversidad con un 47,1% y 41,2% respectivamente, además cuenta con un 11,8% de impactos positivos.

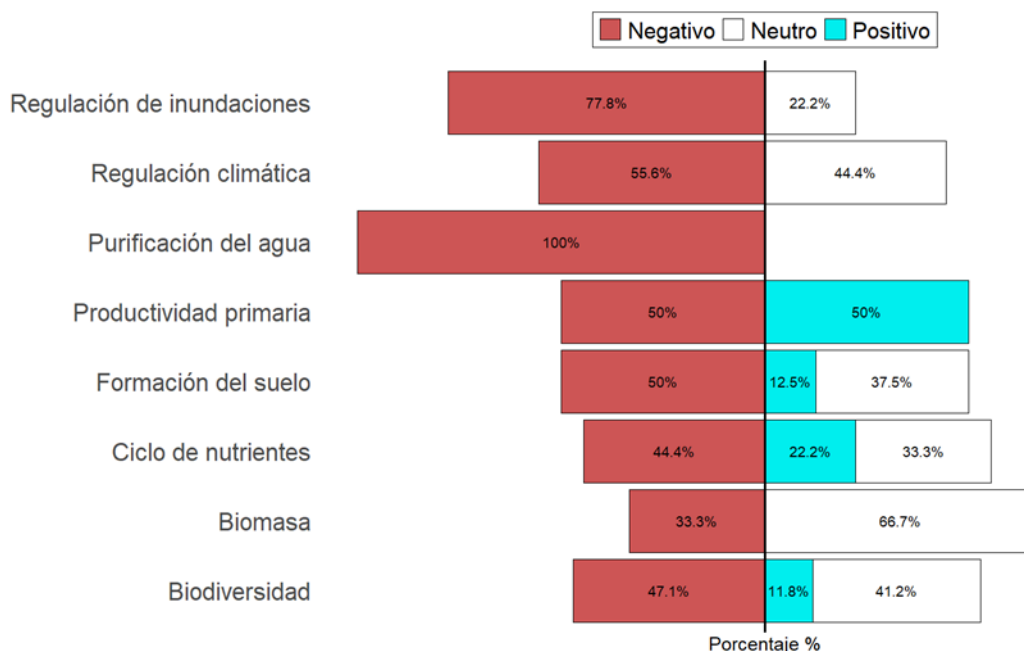


Figura 13 Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método de tala rasa y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=76 registros relacionados al método de tala rasa. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=16, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=4, formación del suelo n=4, productividad primaria n=1, purificación del agua n=2, regulación climática n=5 y regulación de inundaciones n=7. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos positivos; biodiversidad n=4, biomasa n=0, ciclo de nutrientes n=2, formación del suelo n=1, productividad primaria n=1, purificación del agua n=0, regulación climática n=0 y regulación de inundaciones n=0. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos neutros; biodiversidad n=14, biomasa n=2, ciclo de nutrientes n=3, formación del suelo n=3, productividad primaria n=0, purificación del agua n=0, regulación climática n=4 y regulación de inundaciones n=2.

b) Corta de retención variable

Los artículos revisados reportan impactos positivos, negativos y neutros de la corta de retención variable sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos (Fig 14). La subcategoría “regulación climática” reporta un 75% de efectos positivos al utilizar este método y solo un 25% de efectos negativos. La subcategoría “ciclo de nutrientes” presenta reportes variados; un 25% efectos positivos y neutros, mientras que con un 50% reporta efectos positivos. La subcategoría

“biodiversidad” solo presenta un 16,7% de reportes negativos, mientras que los reportes neutros alcanzan un 50%. Solo una subcategoría no reporta impactos tanto negativos como positivos y corresponde a la formación del suelo que presenta un 100% de impactos neutros.

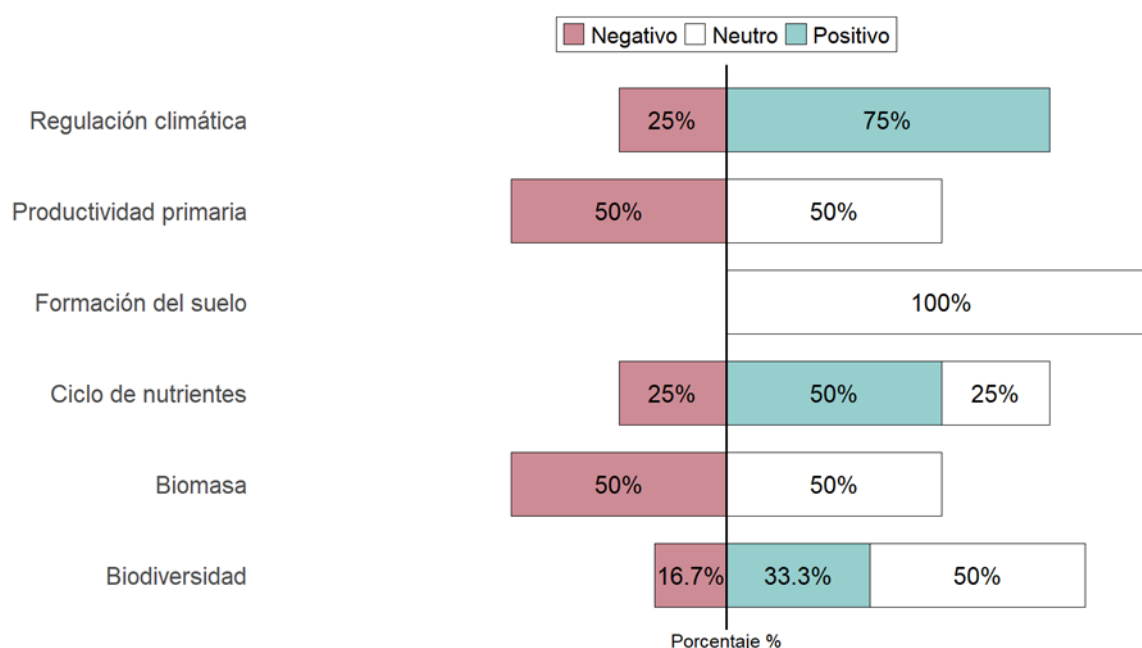


Figura 14. Número de registros asociados a los impactos de la corta de retención variable sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método corta de retención variable y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=25 registros relacionados al método de corta de retención variable. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=2, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=1, formación del suelo n=0, productividad primaria n=1 y regulación climática n=1. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos positivos; biodiversidad n=4, biomasa n=0, ciclo de nutrientes n=2, formación del suelo n=0, productividad primaria n=0 y regulación climática n=3. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos neutros; biodiversidad n=6, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=1, formación del suelo n=0, productividad primaria n=1 y regulación climática n=0.

c) Tala rasa en fajas

Los artículos revisados reportan impactos negativos de la tala rasa en fajas sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos (Fig 15). El 100% de los registros asociados a las subcategorías regulación de inundaciones y biodiversidad reportan efectos negativos de este método sobre los servicios ecosistémicos.

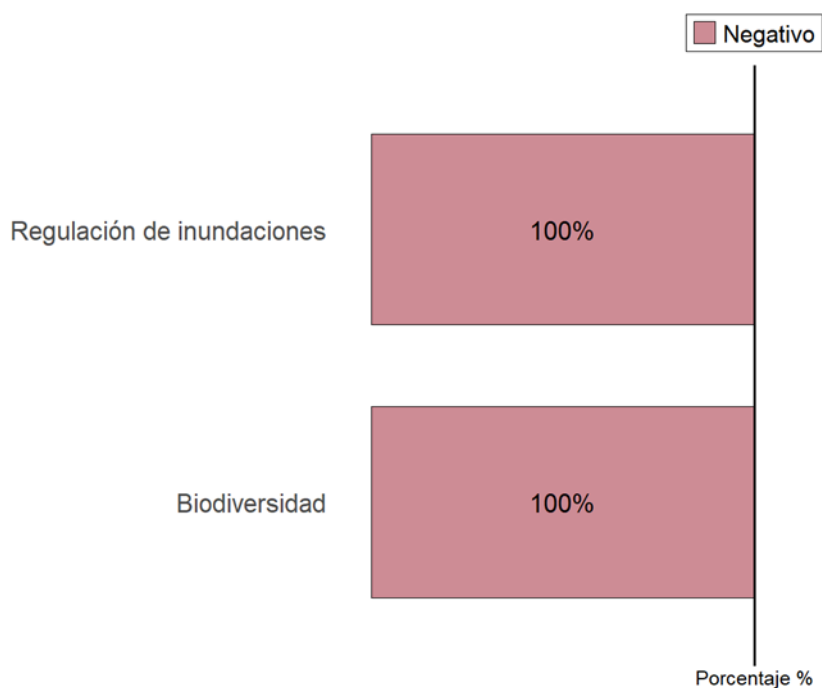


Figura 15. Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa en fajas sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método de tala rasa en fajas y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=3 registros relacionados al método de tala rasa en fajas. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=2 y regulación de inundaciones n=3.

5.5 PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS DEL ARCHIVO LIDAR

El procesamiento del archivo LIDAR genero un shapefile con geometría de puntos que muestra la distribución de árboles al interior del rodal de estudio. La capa shapefile contiene información en su tabla de atributos sobre la ubicación de cada árbol (punto) con sus coordenadas UTM (x, y), además de la altura total individual de cada árbol (punto). Se observa una mayor concentración de árboles en el sector sureste del rodal de estudio, mientras que en zonas altas la cantidad de árboles tiende a disminuir (Fig 16). Esta condición se repite en el sector oeste del rodal donde la densidad de puntos es notoriamente menor. En el centro del rodal se observa una disminución de la densidad de árboles.

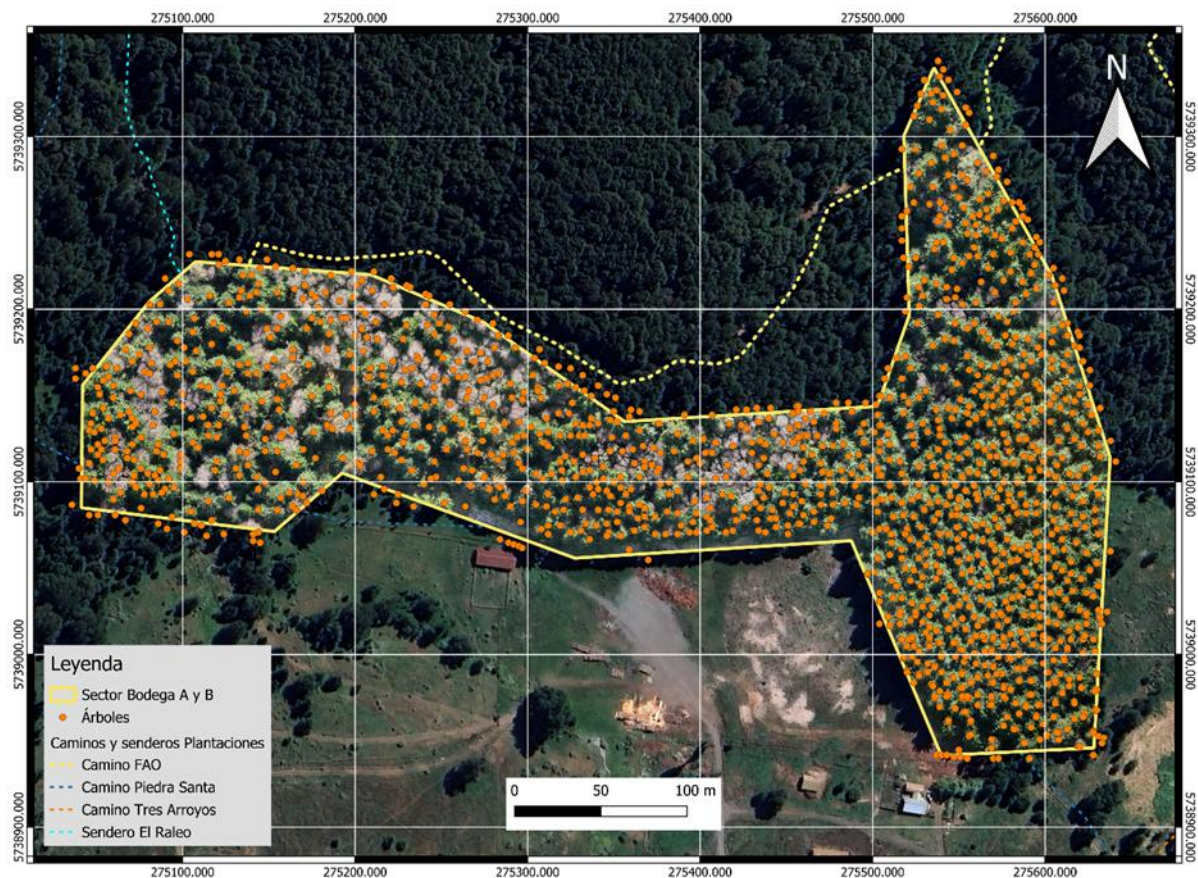


Figura 16. Representación de los árboles que se encuentran en el rodal “Sector Bodega A y B”. La densidad de árboles se obtuvo después del procesamiento del archivo LIDAR que generó un DSM y DTM, luego estos se restaron y se obtuvo un CHM. Posterior a ello se obtuvo un shapefile con geometría de puntos que representa los árboles del rodal de estudio.

5.5.1 Densidad de árboles en el rodal

La densidad de árboles para el rodal de estudio va de 0 a 33,8 individuos, los cuales se encuentran agrupados en radios de 15 metros (Fig 17). Las zonas de color azul indican que la densidad de individuos agrupados es igual a 0, mientras que las zonas de color rojo son indicadoras de mayor cantidad de árboles agrupados en un radio conocido alcanzando valores de 33,8. En tanto las zonas de color amarillo una densidad media con 16,9 árboles en un radio conocido. El rodal de estudio se caracteriza por presentar densidades con agrupamientos de 8,4 árboles. Presenta 2 zonas con un nivel importante de agrupamiento de árboles que van de los 25,3 a los 33,8 árboles en el rodal de estudio.

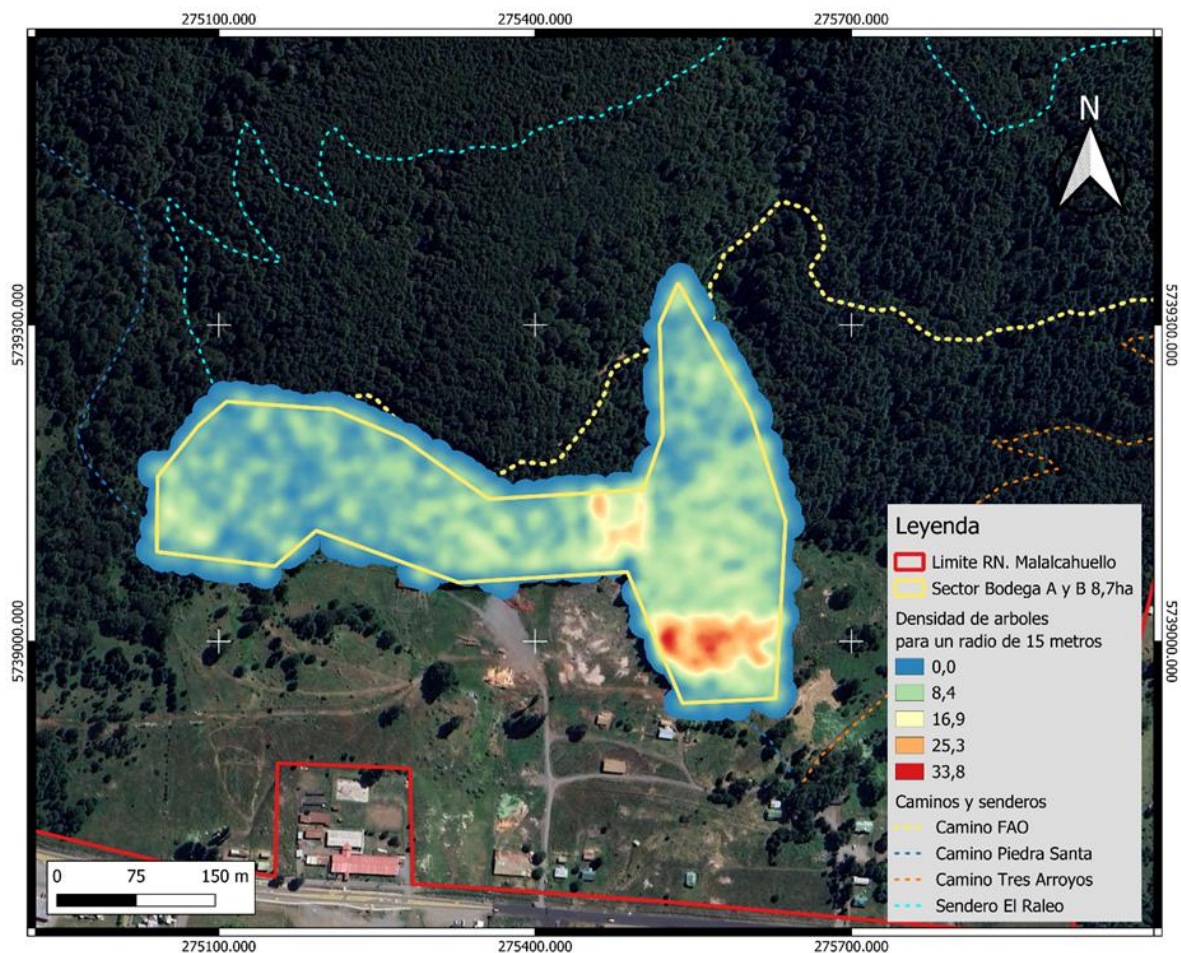


Figura 17. Densidad de árboles para el rodal “Sector Bodega A y B”. Luego del procesamiento del archivo LIDAR se elaboró un mapa de calor con el cual se obtuvo la densidad de árboles para todo el rodal. La densidad se obtuvo a partir de la designación de un radio de 15m de cada individuo y la posterior clasificación en 5 clases.

5.5.2 Pendiente

La pendiente en el interior del rodal de estudio es variable, cuenta con valores que van del 0% y pueden superar el 60% de pendiente (Fig 18). El rodal de estudio en el sector oeste presenta pendientes que van de los 0 a 30% con algunas zonas con 46 a 60%, en el sector sureste del rodal la pendiente se encuentra entre los 0 y 30%, mientras que en el sector noreste y centro del rodal la pendiente es más pronunciada con un 46 a 60% de pendiente y en algunos casos supera el 60% de pendiente.

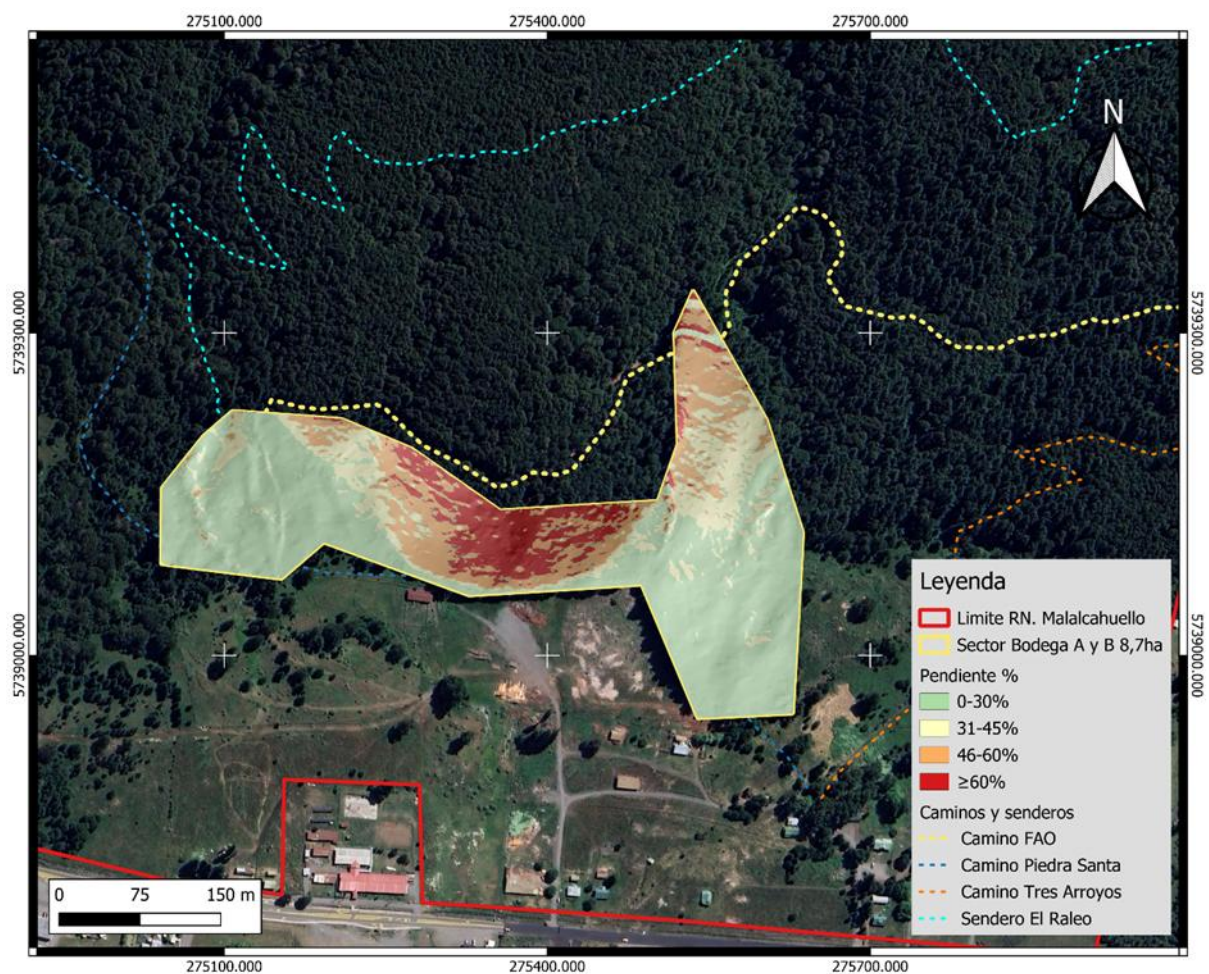


Figura 18. Representación de la pendiente en porcentaje al interior del rodal de estudio. La pendiente al interior del rodal fue generada a partir de una capa de curvas de nivel de 50 cm, la cual se obtuvo con el vuelo drone modelo DJI Matrice 350 RTK durante el mes de septiembre del año 2025. Los valores de pendiente en porcentaje asignados para el rodal de estudio corresponden a rangos que solicita CONAF en sus planes de manejo de plantaciones y planes de manejo de preservación.

5.6 PROPUESTA DE PARCELAS DE MUESTREO FORESTAL

Se obtuvo una cuadrícula con cuadros de 20 x 25 metros (500m²) (véase Anexo1). La densidad de árboles al interior del rodal es variable presentando 5 categorías de densidades con valores que van de 0 a 63 individuos arbóreos. Los rangos que se presentan con frecuencia en el rodal corresponden al rango de 0 a 13 árboles y 13 a 25 árboles, en tanto los que presentan mayor densidad de árboles corresponden a los rangos de 38 a 50 y 50 a 63 árboles.

A continuación, se presentan las parcelas a muestrear en el rodal de estudio, las cuales corresponden a 2 parcelas para cada una de las 5 categorías de densidad de árboles (Fig 19). Los cuadrados de color blanco representan densidades que van de los 4 a 16 árboles en las cuadrículas de 500 m², mientras que los cuadros de color verde oscuro densidad de árboles que van de 51 a 63 árboles en los cuadros de 500 m². La mayor densidad de árboles se encuentra en sectores de plantaciones puras de pino oregón (sector sureste del rodal), mientras que la menor densidad se encuentra en zonas con parches de bosque nativo (sector oeste y noreste del rodal).

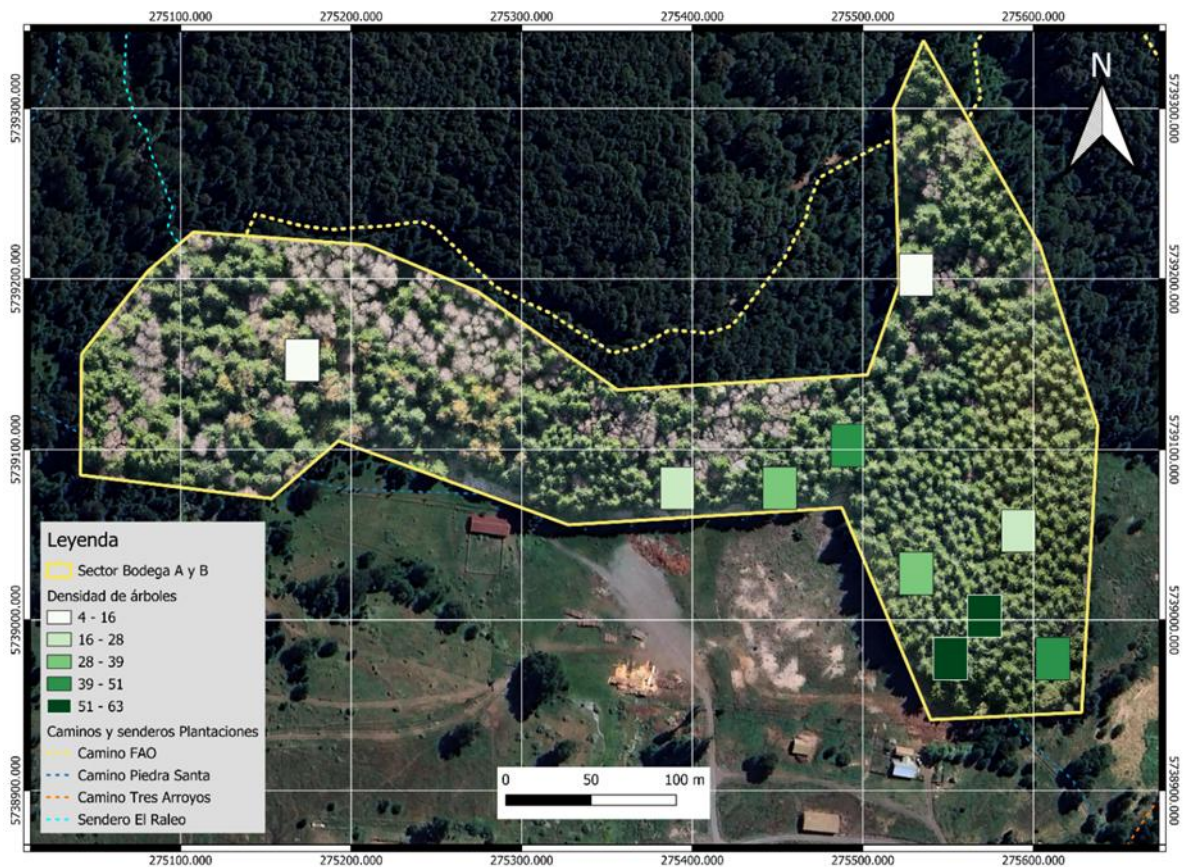


Figura 19. Representación de las parcelas de muestreo de estructura forestal para el rodal de estudio. La selección de parcelas fue realizada de manera aleatoria procurando elegir 2 parcelas por cada categoría de densidad de árboles. Cada cuadro presentado en el mapa cuenta con una superficie de 500 m² lo que equivale a parcelas de 20x25 metros.

5.7 TRATAMIENTOS

El rodal de estudio presenta dos usos de suelo (véase Anexo 3). En el sector “oeste”, la superficie se encuentra cubierta por un bosque mixto, en el que destacan individuos de pino oregón y raulí. En tanto en el sector “este” corresponde a una plantación pura y densa de pino oregón, mientras que el área noreste del rodal está conformada por un bosque mixto con presencia de pino oregón y raulí.

Con los usos de suelos identificados para el rodal “Sector Bodega A y B”, sumado a la revisión de literatura asociada al pino oregón, la revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha y los mapas de densidad de árboles se proponen 3 tratamientos; tala rasa, raleo y raleo de conversión (Fig 20).

5.7.1 Raleo

El raleo consistirá en la eliminación de todos los individuos de pino oregón presente en el sector “A” con una superficie de 4 ha y el sector “C” con una superficie de 0,95 ha, estos sectores se caracterizan por presentar una baja densidad de árboles (Fig 20). Al momento de la cosecha se procurará tener especial cuidado con todas las especies nativas presentes en el sector, además de cuidar la regeneración nativa bajo dosel que se encuentre creciendo y la eliminación de la regeneración de pino oregón. El objetivo principal de este tratamiento es retener los parches de bosque nativo con el fin de que sean estos mediante la semillación de los árboles puedan poblar las superficies descubiertas en la que se encontraba el pino oregón y en caso de que sea necesario realizar un enriquecimiento con especies nativas.

5.7.2 Raleo de conversión

El raleo de conversión será aplicado en el sector “D” de 1,43 ha que presenta una composición pura de pino oregón (Fig 20). Se realizará una apertura de dosel cercana al 20% ya que, según la literatura, la regeneración de pino presenta un mal desempeño con un 20% de luminosidad (Loewe et al. 1996), pero eso cambia cuando la luminosidad aumenta entre un 50% a 70%. Por lo que se procurara que los claros creados no superen el 20% con el fin de evitar la regeneración exitosa de pino oregón y propiciar el crecimiento de especies nativas tolerantes/semitolerantes a la sombra. De acuerdo con los mapas de densidad de árboles el sector D presenta una alta densidad arbórea por lo que se espera que existan arboles semilleros cercanos y una alta cantidad de semillas en el suelo, con este escenario se debe hacer una cuidadosa apertura de dosel que evite el crecimiento oportunista del pino oregón y propicie el poblamiento de especies nativas que se encuentren bajo dosel y si este no es el caso, hacer un enriquecimiento con especies nativas tolerantes/semitolerantes.

5.7.3 Tala rasa

La tala rasa se aplicará en el sector “B” de 2,34 ha y consistirá en la eliminación de todos los individuos de pino oregón presentes (Fig 20). A partir de la ortofoto generada por el vuelo drone este sector fue fotointerpretado como un área que presenta una composición pura de pino oregón, sin embargo, si al momento de cosechar se encuentran individuos nativos estos se retendrán en el lugar.

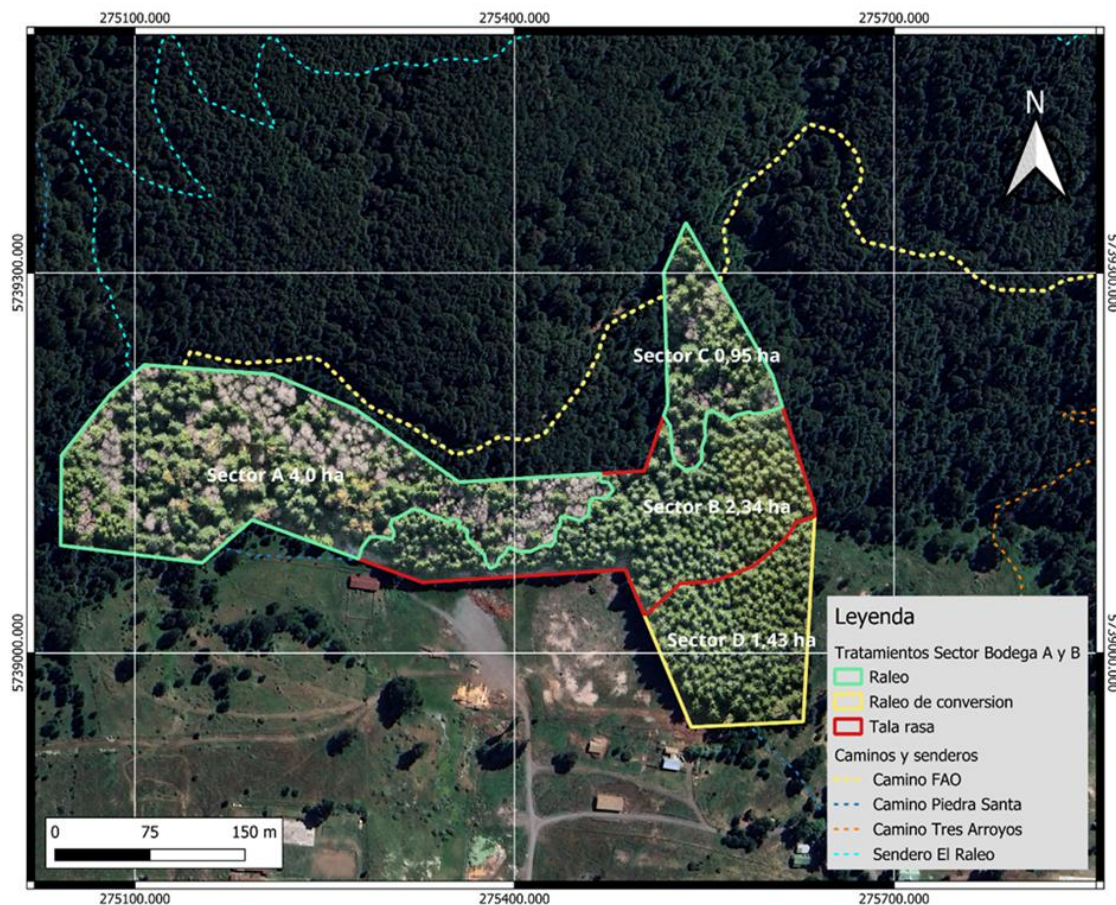


Figura 20. Representación de los sectores a intervenir al interior del rodal mediante 3 tratamientos; tala rasa, raleo y raleo de conversión. El sector A y C comparten el mismo tratamiento al contar con parches de bosque nativo. El sector B de 2,34 ha será intervenido mediante tala rasa en toda su extensión, mientras que en el sector D se realizará una intervención denominada “Raleo de conversión” la cual busca realizar una apertura gradual de dosel.

5.8 REDUCCION DE COPA DEL 20%

El sector “D” que forma parte del rodal “Sector Bodega A y B” será intervenido mediante un raleo de conversión, el cual tiene como objetivo la reducción gradual de copa cercana al 20% (Fig 21). La propuesta de reducción de copa consta de áreas de retención permanente y que gradualmente se eliminaran y zonas de eliminación de copa inmediata mediante un raleo. Las áreas de color verde oscuro corresponden a la cobertura arbórea que se busca retener en el rodal y que posteriormente se eliminara gradualmente, mientras que las áreas de color verde claro corresponden a las copas a tratar mediante un raleo de eliminación del 20% de la cobertura.

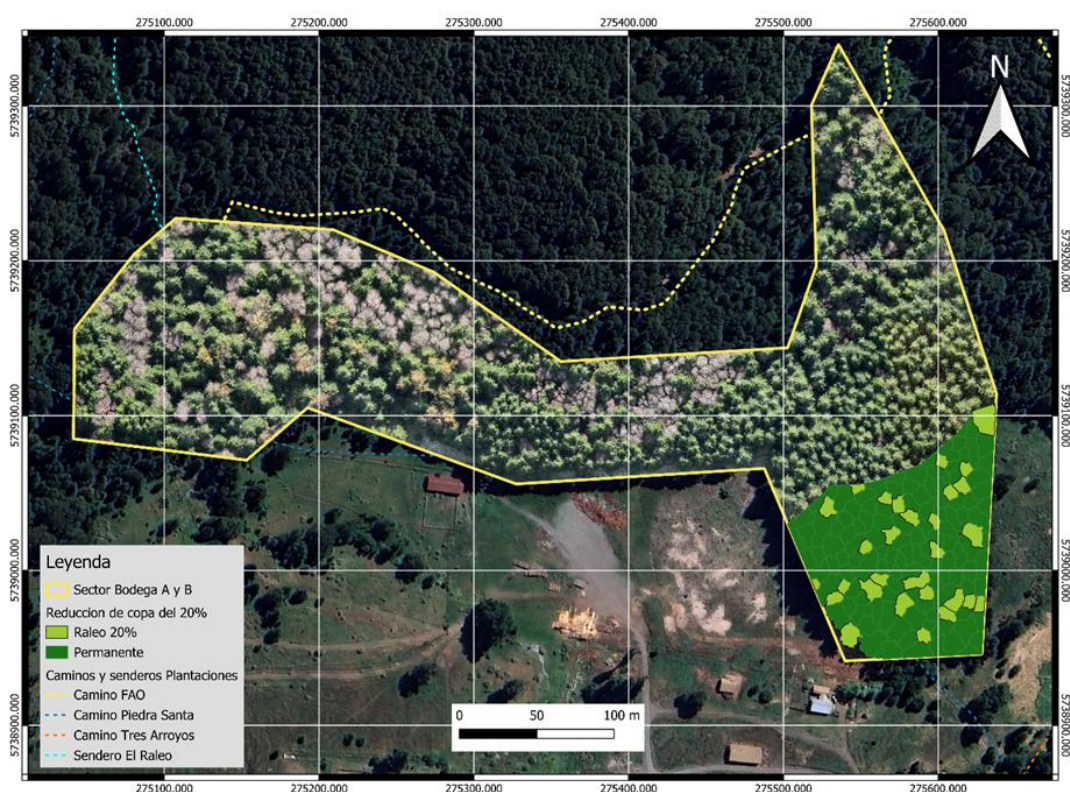


Figura 21. Representación de la reducción de copa para el sector D que cuenta con una superficie de 1,43 ha y que corresponde a una plantación pura de pino oregón. En este sector se realizará el raleo de conversión, con una reducción de copa cercana al 20% con el fin de favorecer la regeneración de especies nativas tolerantes a la sombra.

6. DISCUSION

La investigación a nivel global asociada a distintos métodos de cosecha en plantaciones forestales presenta una cantidad importante de publicaciones en comparación con la literatura científica a nivel nacional. De acuerdo con la revisión, el número de artículos a nivel global alcanza los 82, mientras que a nivel nacional solo 4 artículos desarrollan investigación en plantaciones forestales considerando algún método de cosecha forestal. Las razones por las cuales la investigación científica a nivel nacional cuenta con una menor cantidad de publicaciones pueden relacionarse con lo expresado por Donoso & Promis (2013), quienes, si bien describen los problemas de la silvicultura del bosque nativo —como la “a) falta de una política forestal para el manejo sustentable, b) criterios de corto plazo orientados a maximizar utilidades en una primera intervención, c) sistema inadecuado asociado a la formulación, ejecución y control de los planes de manejo, y d) los escasos fondos concursables para postular a proyectos en silvicultura” — estos son algunos de los problemas que se presentan al momento de postular a proyectos concursables relacionados con la restauración del bosque nativo. En esta misma línea, Salas et al. (2016) expresan que se debe avanzar hacia una gestión forestal sostenible para plantaciones forestales, lo que a largo plazo podría aumentar el financiamiento en investigación asociada al bosque. Relacionando la revisión con lo expresado por Salas et al. (2016) y Donoso & Promis (2013), contar con una mayor cantidad de investigación científica puede ayudar a avanzar en materia legislativa y en generar evidencia de que, en procesos de conversión de bosques, un método de cosecha puede ser más beneficioso que otro.

La revisión de literatura gris estuvo asociada principalmente a trabajos de tesis de pregrado que, al no contar con revisión por pares, deben interpretarse con cautela.

El análisis de impactos sobre las categorías mostró una tendencia de investigación asociada a los servicios de regulación. Al hacer un zoom en las subcategorías de servicios ecosistémicos, se observa una gran cantidad de registros vinculados a regulación del clima, regulación de inundaciones, biodiversidad y purificación del agua, todos ellos pertenecientes a los servicios de regulación. De acuerdo con la revisión, el servicio de biodiversidad es uno de los más investigados en la literatura, lo que podría explicarse por las variables medidas y los métodos de captura de datos. Algunos

estudios revisados incluyen: Zettler et al. (2004), quienes realizaron mediciones de riqueza y abundancia de hormigas en zonas de tala rasa mediante trampas de caída; Butterfield (1999), quien midió abundancia de colémbolos en zonas de tala rasa; y Uaeda et al. (2022), quienes midieron abundancia de escarabajos también mediante trampas de caída. Los costos de aplicar este tipo de mediciones pueden ser menores en comparación con un análisis de suelo, que en Chile puede llegar aproximadamente a \$56.000 (i.e., UACH, www.uach.cl). Otro servicio ecosistémico con una gran cantidad de registros corresponde a la regulación climática, cuyos estudios pueden ser más costosos debido a los requerimientos de monitoreo. Por ejemplo, Gao et al. (2015) desarrollaron mediciones de temperatura, CO₂ y velocidad del viento en zonas de tala rasa; Arango & Arain (2025) midieron variables climáticas como temperatura y humedad en zonas de corta de retención variable. Estos son algunos de los estudios revisados que midieron variables tanto climáticas como de biodiversidad, lo que puede explicar por qué existen más estudios sobre ciertos servicios ecosistémicos, considerando los costos asociados a medirlos.

La revisión de los efectos de tres métodos de cosecha mostró que la tala rasa presenta la mayor cantidad de impactos, lo que se relaciona con la mayor cantidad de investigación asociada a este método (n = 76 registros), en comparación con la tala rasa en fajas (n = 3 registros) y la corta de retención variable (n = 25 registros). Entre los registros positivos sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos se encuentran los estudios de Butterfield (1999), asociado a la formación del suelo, quien encontró una mayor descomposición de materia orgánica en zonas de tala rasa; Pridacha et al. (2021), relacionado con la productividad primaria, quienes encontraron que la tasa de conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración fue mayor en plántulas plantadas luego de la tala rasa; Lapointe et al. (2006), relacionado con el ciclo de nutrientes, quienes reportaron altas concentraciones de nitrógeno en las acículas de individuos plantados después de la tala rasa; y Kataja-Aho et al. (2016), quienes, en un estudio sobre biodiversidad, encontraron que la abundancia y riqueza de escarabajos en sitios de tala rasa era alta. Estos son algunos de los estudios relacionados con los impactos de la tala rasa sobre los servicios ecosistémicos.

La corta de retención variable puede ser una alternativa de cosecha forestal, considerando que presenta una menor cantidad de impactos negativos en comparación con la tala rasa; sin embargo, siempre debe tenerse presente que la cantidad de publicaciones asociadas a este método es menor.

La densidad de árboles para el rodal de estudio tiende a ser mayor en la zona sureste del rodal y cuenta con una menor densidad en la zona este y noreste del rodal. Al relacionar la densidad con la

variable topográfica “pendiente” la densidad es menor en las pendientes más pronunciadas por lo que la densidad se podría explicar por la pendiente. Esto también se puede explicar por la presencia de la fuente de propágulos ya que si la fuente se encuentra en las zonas bajas es difícil que por viento o gravedad las semillas se dispersen a zonas altas, así mismo ocurre si la fuente de propágulos se encuentra en las zonas altas, esta tendera a semillar a zonas bajas ya sea por gravedad y/o viento, aunque según Burmeister (2017) con fuertes vientos las semillas de pino oregón pueden propagarse por grandes extensiones de terreno por lo que se debe tomar datos en terreno en este rodal con el fin de conocer como es la semillación y propagación al interior de esta unidad.

La vegetación al interior del rodal de estudio se compone de bosques mixtos y plantaciones puras de pino oregón, en el rodal el bosque mixto se encuentra en zonas con menor densidad de plantaciones, esto puede ocurrir por la ausencia de fuentes de propágulos, como consecuencia la regeneración de pino oregón es menor y la cobertura arbórea de la plantación disminuye, esto permite la regeneración de especies nativas. A su vez la presencia de árboles nativos adultos permite la llegada de especies arbustivas y del sotobosque que compiten con la regeneración de pino oregón. Se encuentra documentado en la literatura que el pino oregón presenta una debilidad en su crecimiento cuando la competencia de raíces es alta (Loewe et al. 1996).

La propuesta de tratamientos de cosecha para el rodal de estudio fue realizada a partir de la revisión sobre métodos de cosecha (Nahuelan, 2025), la revisión de la autoecología del pino oregón y considerando la densidad de árboles que se obtuvo a partir de la generación de mapas de densidad.

La aplicación de una franja a tala rasa de 90 a 100 metros de ancho entre los sectores A, C y D es estratégica, ya que se busca evitar la semillación directa a los rodales vecinos, con esta franja las semillas deberán propagarse una mayor cantidad de metros (>100 m) para llegar al rodal más cercano y contar con una regeneración exitosa. A su vez el control de la regeneración de pino oregón en la franja a tala rasa será más fácil, ya que según literatura la mayor densidad de regeneración ocurre en los primeros 20 metros desde la fuente de propágulos y tiende a disminuir con la distancia (Fuentes-Ramírez, 2024) por lo que se hará un control intensivo de las plántulas en esos primeros metros. Se espera que a distancias mayores la densidad de regeneración sea menor y el esfuerzo por eliminar los individuos sea menor.

7. CONCLUSIONES Y CUMPLIMIENTO DEL PERFIL PROFESIONAL

- De acuerdo con la revisión las plantaciones forestales son manejadas intensivamente tanto a nivel nacional como mundial mediante el método de tala rasa, que cuenta con la mayor cantidad de investigación en literatura asociada a este método. Si bien, es el método de cosecha más utilizado por una cuestión de costos y aprovechamiento de la masa forestal, no se puede desconocer que en la literatura también se realiza investigación y se cosecha con otros métodos como son la corta selectiva, corta de retención variable, corta de protección y tala rasa en fajas, aunque en menor medida.
- La investigación de literatura científica como gris en plantaciones forestales se encuentra asociada principalmente a los servicios ecosistémicos, lo que es una noticia positiva pensando en la necesidad de conocer cuáles son los impactos reales de los métodos de cosecha sobre el medio ambiente en general y la búsqueda de métodos de cosecha que causen el menor impacto.
- La investigación científica de los impactos de la cosecha sobre los servicios ecosistémicos se asocia principalmente al servicio de biodiversidad, el cual puede estar asociado a la dificultad para medir variables de otros servicios ecosistémicos que pueden ser más costosas como lo expresado en la discusión.
- Los efectos de la tala rasa son mayores en comparación a otros métodos, pero se debe tener en cuenta que los métodos de corta de retención variable y tala rasa en fajas poseen un menor número de publicaciones asociadas por lo que este análisis puede ser apresurado, aunque permite tener una aproximación de los efectos de los métodos sobre los servicios ecosistémicos.
- El rodal de estudio presenta densidades arbóreas variables. En zonas con mayor porcentaje de pendiente existe una menor densidad de árboles que en zonas con menor porcentaje de pendiente. Las zonas con menor densidad de árboles se encuentran ubicadas en el sector oeste y noreste del rodal y corresponden a bosque mixto de especies nativas principalmente raulí y plantaciones de pino oregón, mientras que las zonas con mayor densidad de árboles son plantaciones puras de pin oregón.
- El rodal para intervenir se caracteriza por presentar bosques mixtos y plantaciones puras y la intervención mediante los tratamientos se realizará tomando en cuenta esta

característica. En sectores de bosque mixto se busca retener las especies nativas, mientras que en rodales puros se realizara una intervención a tala rasa y un tratamiento innovador denominado “raleo de conversión” que toma en consideración la autoecología del pino oregón.

- La apertura de dosel del 20% presentada en este informe es teórica y corresponde a una aproximación de lo que se aplicara en terreno. Las condiciones de la vegetación en terreno son distintas a lo que se observa mediante una fotografía aérea y la selección misma de los árboles dependerá de lo que observe en terreno

Los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales aportan conocimiento sobre el estado de la investigación asociada a métodos de cosecha en Chile y a nivel global. Permite obtener conocimiento de cómo se aprovechan las plantaciones y los impactos sobre los servicios ecosistémicos; esto es relevante, ya que, al momento de plantear leyes, planes y políticas públicas, estas se deben sustentar en evidencia científica, y este trabajo puede contribuir al momento de proponer esas políticas, además de mostrar qué tópicos son frecuentes a la hora de estudiar las plantaciones y cuáles no.

La revisión y la propuesta generada están directamente relacionados con las competencias 1 y 2 correspondientes al dominio de “Uso, conservación y preservación de los recursos naturales renovables”. En este trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre los métodos de cosecha y sus impactos sobre los servicios ecosistémicos, con el fin de encontrar metodologías y tecnologías innovadoras para convertir un rodal de pino oregón a bosque nativo en un área protegida, todo ello sustentado en evidencia científica y el uso de nuevas tecnologías. Se consideró la revisión bibliográfica en la elección de los tratamientos, además del procesamiento de un archivo LiDAR con el fin de elaborar la propuesta de conversión, siempre con el objetivo de disminuir los impactos sobre los servicios ecosistémicos, tomando en cuenta variables topográficas como la pendiente, la presencia de parches de bosque nativo al interior del rodal y la autoecología del pino oregón, pero a su vez teniendo en consideración que se busca eliminar los individuos de pino.

Respecto al tema trabajado, se puede seguir profundizando en la medición de variables de monitoreo y comparación de los efectos de los tratamientos sobre el suelo y variables ambientales.

8. AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a Dios y a mi familia por acompañarme y apoyarme desde siempre.

A mi madre, mi padre y mi hermana, ellos son pilares fundamentales en mi vida sin ellos no estaría donde estoy hoy. Quiero agradecer su apoyo y cariño incondicionales, además destaco los momentos en los cuales me han hecho ver cuando estoy equivocado, ya que todo ello ha contribuido a forjarme a lo largo de mi vida.

Agradezco a mi profesor guía, Rodrigo Vargas, por confiar en mí y darme la oportunidad de tomar esta práctica en el laboratorio. Sus consejos, su disposición y paciencia fueron claves cuando las cosas para mí eran confusas. Por su apoyo y la oportunidad de participar en el Congreso de Restauración Ecológica.

Agradezco al equipo EcoBos por recibirme con calidez; Javiera, Bárbara, Natalia, Diego, Valeria, Octavio, Matías, profesor Andrés, profesora Paola, Profesora Loreto y Profesor Leonardo. Cada uno de ustedes me ha dado palabras de apoyo, alegría y buena disposición, además de consejos y conversaciones que me han ayudado a resolver problemas relacionados a mi trabajo.

Quiero agradecer a todas las personas que fueron parte de mi vida en la universidad e hicieron amena mi estadía en ella.

A mis amigos Matías Sepúlveda, Pedro Painen y Hugo García, gracias por apoyarme en momentos difíciles, escucharme y por acompañarme con sus consejos y apoyo constante.

Finalmente, y no menos importante agradezco a la naturaleza la cual ha sido mi propósito para elegir esta carrera. Desde pequeño siempre he sentido una conexión con ella y fue eso lo que despertó en mí la pasión no solo de cuidarla, sino también la necesidad de entenderla y protegerla.

Ir más allá del horizonte...

9. BIBLIOGRAFÍA

Adams, D. L., J. D. Hodges, D. L. Loftis, J. N. Long, R. S. Seymour, and J. A. Helms. 1994. Silviculture Terminology with Appendix of Draft Ecosystem Management Terms. Silviculture Instructors Subgroup of the Silviculture Working Group of the Society of American Foresters. <https://www.silvicultureinstructors.com/index.php/resources/silviculture-terminology>

Armesto, J. J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., & Marquet, P. A. (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land use policy*, 27(2), 148-160. DOI:

Arango Ruda, Elizabeth & Arain, M.. (2025). Evaluating Hysteresis Patterns in Sap Flow of a Red Pine Forest Subjected to Different Variable Retention Harvesting Treatments. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 130. 10.1029/2024JG008363.

Avelar-Rodriguez, D., & Toro-Monjaraz, E. M. (2018). PubMed: Clinical Queries, Terminología MeSH y Operadores Booleanos. *Revista de Medicina Clínica*, 2(3), 96-100.

Axer, M., Schlicht, R., & Blickensdörfer, L. (2025). Quantile regression for estimating Douglas-fir natural regeneration potential using the R package quaxnat: Advanced ecological modeling for the management of nature conservation and silviculture. *Ecological Modelling*, 501, 110968. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110968>

Bannister, J. (Ed.), Ovalle, J. (Ed.), Vargas Gaete, R., et al (2024). Restauración de ecosistemas forestales. Editorial Universitaria. 24p cita de solo el capítulo

Barros Asenjo, S.. (2018-12). Evolución de las plantaciones forestales en Chile. *Forestación y reforestación. Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR*, v.24:n3. páginas 89-115.

Bengoa, J. 1999 *Historia de un Conflicto: El Estado y los Mapuches en el Siglo XX*. Editorial Planeta SA, Santiago.

Bionostra. 2025. Restauración Ecológica en Chile, ¿Cuál es la situación? Recuperado el 16 de diciembre de 2025, de: <https://bionostra.com/restauracion-ecologica-en-chile-cual-es-la-situacion/>

Butterfield, J. (1999). Changes in decomposition rates and Collembola densities during the forestry cycle in conifer plantations. *Journal of Applied Ecology*, 36(1), 92-100. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1999.00382.x>

Burmeister, E., 2017. Environmental Factors Influencing the Douglas fir Invasion of Nothofagus forest. Master Thesis. University of Canterbury. New Zealand, p. 81. <http://dx.doi.org/10.26021/8941>

Blume, T., Zehe, E., & Bronstert, A. (2009). Use of soil moisture dynamics and patterns at different spatio-temporal scales for the investigation of subsurface flow processes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1215–1233. <https://doi.org/10.5194/hess-13-1215-2009>

Bravo-Vargas, V., García, R. A., Pizarro, J. C., & Pauchard, A. (2019). Do people care about pine invasions? Visitor perceptions and willingness to pay for pine control in a protected area. *Journal of Environmental Management*, 229, 57-66.

Cóbar, Ana & Pauchard, Anibal & García, Rafael & Peña, Eduardo. (2014). Effect of *Pinus contorta* invasion on forest fuel properties and its potential implications on the fire regime of *Araucaria araucana* and *Nothofagus antarctica* forests. *Biological Invasions*. 16. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0663-8>.

CONAF. (1996). Plan de manejo Reserva Forestal Malalcahuello R.N. Malalcahuello (Documento de trabajo N° 2243). IX Región de La Araucanía, Chile: CONAF. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/9c7fe0b6-8478-4bd7-b45e-05656f55618d>

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s. f.). *Reserva Nacional Malalcahuello*. Recuperado el 19 de diciembre de 2025, de https://www.conaf.cl/parque_nacionales/reserva-nacional-malalcahuello/

CONAF. (2024). *Catastro de los Recursos Vegetacionales de Chile* (p. 70). <https://sit.conaf.cl/>

CONAF. 2021. Plan de Manejo de Plantaciones Forestales D.L. N° 701. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en <https://www.conaf.cl/centro-documental/planes-y-normas-de-manejo/>

Convention on Biological Diversity (1992) United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya. 30 pp.

Corredor-Camargo, Emma & Fonseca-Carreño, Jorge & Paez, Edwin. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 3. 77. 10.22490/21456453.936.

Cubbage, F., Harou, P., & Sills, E. (2007). Policy instruments to enhance multi-functional forest management. *Forest Policy and Economics*, 9(7), 833-851.

Donoso, Pablo & Promis, Alvaro. (2013). *Silvicultura en Bosques Nativos*. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelandia.

Donoso, P., & Navarro, C. (2022). *Silvicultura y Manejo de Bosques Nativos: Ecología Aplicada para la Conservación de Ecosistemas Forestales*. Editorial Universitaria.

Donoso Zegers, C. (Ed.) (2006). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología*. 1a. edición. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo, ediciones.

Donoso Zegers, C. (Ed.) (2006). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología*. 1a. edición. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo, ediciones.

Donoso, Pablo & Promis, Alvaro. (2013). Silvicultura en Bosques Nativos. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelandia.

Droppelmann Felmer, F., Grosse Werner, H., & Laroze Bareyre, A. (2019). Contribución de los bosques nativos y plantados a la mitigación de los impactos del cambio climático en Chile en un contexto de desarrollo sustentable. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(2), 7–36. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.513>

Elizalde, R. (1970). *La sobrevivencia de Chile: La conservación de sus recursos naturales renovables (2a. Edición)* (Segunda Edición). Ministerio de Agricultura.

Esri. 2021. ¿Qué es un shapefile? Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>

FAO. (1996). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (Estudio FAO Montes, Vol. 131).

FAO. 2024. El estado de los bosques del mundo 2024: Innovaciones en el sector forestal para lograr un futuro más sostenible. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd1211es>

FAO. 2025. Iniciativa +Bosques adjudica más de 400 proyectos para la gestión sustentable del bosque nativo. Recuperado el 17 de diciembre de 2025, de: <https://www.fao.org/chile/news-and-opinion/news/detail/Iniciativa-Bosques-adjudica-m%C3%A1s-de-400-proyectos-para-la-gesti%C3%B3n-sustentable-del-bosque-nativo/es>

Farris, M. (2021). ¿Aprovechamiento sostenible versus extractivismo? modelos de desarrollo forestal en Chile y España. Reflexión teórica y propuesta metodológica. *Investigaciones Geográficas: Una Mirada Desde El Sur*, (61), 16–25. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.63996>

Fuentes-Ramírez, A., Vargas-Gaete, R., Toy-Opazo, O., Muñoz-Gómez, N., Salas-Eljatib, C., & Pauchard, A. (2024). Control of invasive conifers in temperate Andean forests promotes native vegetation restoration, but requires continuous management. *Trees, Forests and People*, 16, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100581>

Franco-Pérez, Á. M. (2023). Google Académico: El buscador especializado para la ayuda a la investigación. *Hospital a Domicilio*, 7(1), 35-47.

Gayoso, J., Guerra, J., & Schlegel, B. (2000). Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal.

Gao, Shenghua & Chen, Jiquan & Tang, Yuxi & Xie, Jing & Zhang, Rui & Tang, Jie & Zhang, Xudong. (2015). Ecosystem carbon (CO₂ and CH₄) fluxes of a *Populus deltoides* plantation in subtropical China during and post clear-cutting. *Forest Ecology and Management*. 357. 206-219. 10.1016/j.foreco.2015.08.026.

Gandhi, U. 2024. Creating Heatmaps (QGIS3). Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/creating_heatmaps.html.

Gray, A.N.; Spies, T.A. 1996. Gap size, within-gap position, and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology*. 84: 635-645. Consultado el 16 de diciembre del 2025. Disponible en: <https://research.fs.usda.gov/treearch/54624>

Hanewinkel, M. (2002). Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: A critical analysis of different methods. *Forestry*, 75, 473-481.

Harling, L. (2025, marzo 24). Boolean searches in Scopus: Understanding operator precedence and best practices. *Elsevier Scopus Blog*. <https://blog.scopus.com/boolean-searches-in-scopus-understanding-operator-precedence-best-practices/>

Instituto Forestal (Chile) (2009). Silvicultura del bosque nativo chileno. Función histórica y opciones futuras sobre la base de manejo sustentable. 1a. edición. Santiago, Chile: INFOR.

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico 5 del ipcc. Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.

Kannegiesser Schuh, U.. (1988). Descripción básica del pino oregon (*Pseudotsuga menziesii*). Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR, (Vol.2, Núm.3). páginas 57-64.

Kannegiesser Schuh, U.. (1989). Apuntes sobre pino oregon. 2. Regeneración natural de la especie. En Ciencia e Investigación Forestal, INFOR (Instituto Forestal de Chile), (Vol. 3, Núm.1). páginas 109-117. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://revista.infor.cl/index.php/infor/issue/view/10>

Kataja-aho, Saana & Hannonen, Paloma & Liukkonen, Titta & Rosten, Hertta & Koivula, Matti & Koponen, Seppo & Haimi, Jari. (2016). The arthropod community of boreal Norway spruce forests responds variably to stump harvesting. *Forest Ecology and Management*. 371. 10.1016/j.foreco.2016.01.025.

Krauze, K. & Wagner, I. 2007. An ecohydrological approach for the protection and enhancement of ecosystem services. In: Petrosillo et al. (eds.). Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security. NATO Science for Peace and
Klaus N. Kremer, Jan R. Bannister, Jürgen Bauhus, Restoring native forests from *Pinus radiata* plantations: Effects of different harvesting treatments on the performance of planted seedlings of temperate tree species in central Chile, *Forest Ecology and Management*, Volume 479, 2021, 118585, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118585>.

Kremer, K. N., & Bauhus, J. (2024). Restoring native forests from *Pinus radiata* plantations: Natural regeneration of native tree species in response to different harvesting treatments in central Chile. *Restoration Ecology*, 33(1), 14.

La Literatura Gris. (2011). *Formación universitaria*, 4(6), 1-2.

Lapointe, B., Bradley, R.L., Parsons, W.F., & Brais, S. (2006). Nutrient and light availability to white spruce seedlings in partial and clearcut harvested aspen stands. *Silva Fennica*, 40.

Martínez Pastur, G. J., Vanha-Majamaa, I., & Franklin, J. F. (2020). Ecological perspectives on variable retention forestry. *Ecological Processes*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0215-3>

Meneses, M., & Guzmán, S. (2000). Productividad y eficiencia en la producción forestal basada en las plantaciones de pino radiata. *Bosque*, 21(2), 3-11.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Monje-Hernández, Yerko, Riesco Salinas, Matías, Hora, Benedikt, & Marchan Santiago, Carla. (2024). Las trayectorias en la construcción del “bosque”. Transformaciones, discursos y efectos espaciales de la legislación forestal chilena entre 1872-1974. *Revista de historia (Concepción)*, 31, 16. Epub 24 de abril de 2024. <https://dx.doi.org/10.29393/rh31-16tcym10016>

Morales, A. 2018. ¿Cómo crear heatmaps o mapas de calor en QGIS? Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://mappinggis.com/2018/03/como-crear-mapas-de-calor-en-qgis-3/>

Núñez, Martín A, Paritsis, Juan. How are monospecific stands of invasive trees formed? Spatio-temporal evidence from Douglas fir invasions, *AoB PLANTS*, Volume 10, Issue 4, August 2018, ply041, <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply041>

Lange, F., Ammer, C., Leitinger, G., Seliger, A., & Zerbe, S. (2022). Is Douglas Fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco] invasive in Central Europe? A case study from South-West Germany. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, Article 844580. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.844580>

Loewe Muñoz, V., Camelio Rodríguez, M., Fernández Quiroga, M. (1996). Monografía de pino oregón *Pseudotsuga menziesii*. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/3912>

Odum E (1986) *Fundamentos de Ecología*. Nueva Editorial. México. 472 pp.

Prado D., J. A. (2015). *Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G.

Pridacha, V.B., Sazonova, T.A., Novichonok, E.V. et al. Clear-cutting impacts nutrient, carbon and water exchange parameters in woody plants in an east Fennoscandian pine forest. *Plant Soil* 466, 317–336 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05058-w>

QGIS Development Team. (2024). QGIS 3.40 documentation. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/index.html>.

Quiroz Marchant, I., Rojas Ponce, Y. (2003). Pino ponderosa y Pino oregón: coníferas para el sur de Chile. Valdivia, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/609>

Rubilar, R., Fox, T., Alle, L., Albaugh, T., & Carlson, C. (2008). Manejo Intensivo al establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus* sp. Y *Eucalyptus* sp. En Chile y Argentina. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 40, 1-7.

Sadanandan Nambiar, E. K. (1999). Productividad y sustentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque*, 20(1), 9-21.

Secretaría de la CIPF. 2022. Guía de condición de plagas: Comprensión de los principales requisitos para la determinación de la condición de una plaga. Roma, FAO en nombre de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Salas, C., Donoso, P. J., Vargas, R., Arriagada, C. A., Pedraza, R., & Soto, D. P. (2016). The Forest Sector in Chile: An Overview and Current Challenges. *Journal of Forestry*, 114(5), 562-571.

Toro, J., & Gessel, S. (1999). Radiata pine plantations in Chile. *New Forests*, 18(1), 33-44.

Smith-Ramírez, Cecilia, González, Mauro E, Echeverría, Cristian, & Lara, Antonio. (2015). Estado actual de la restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos: Current state of ecological restoration in Chile: Perspectives and challenges. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1), 11-21. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100002>

Silverman, B. W. (1986). Density estimation for statistics and data analysis. Chapman & Hall.

Toy-Opazo, O., Fuentes-Ramirez, A., Palma-Soto, V., Garcia, R. A., Moloney, K. A., Demarco, R., & Fuentes-Castillo, A. (2024). Flammability features of native and non-native woody species from the southernmost ecosystems: A review. *Fire Ecology*, 20(1), 21.

Toraño Caicoya, Astor & Cueva Ortiz, Jorge & Uhl, Enno & Pretzsch, Hans & Weikl, Fabian & Biber, Peter. (2025). Influencing factors of mature stands and stumps on the height growth of planted regeneration. *Forest Ecology and Management*. 592. 10.1016/j.foreco.2025.122828.

Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511.

Ueda, A., Itô, H. & Sato, S. Effects of dispersed and aggregated retention-cuttings and differently sized clear-cuttings in conifer plantations on necrophagous silphid and dung beetle assemblages. *J Insect Conserv* 26, 283–298 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00386-3>

Vargas-Gaete, R., Muñoz, B., & Penneckamp, D. (2024). Degradación de ecosistemas forestales, definiciones y conceptos aplicados a los bosques de Chile. En *Restauración de ecosistemas forestales* (Vol. 1, pp. 26-55). Editorial Universitaria.

Von Holle, B., & Simberloff, D. (2005). Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology*, 86(12), 3212–3218. <https://doi.org/10.1890/05-0427>

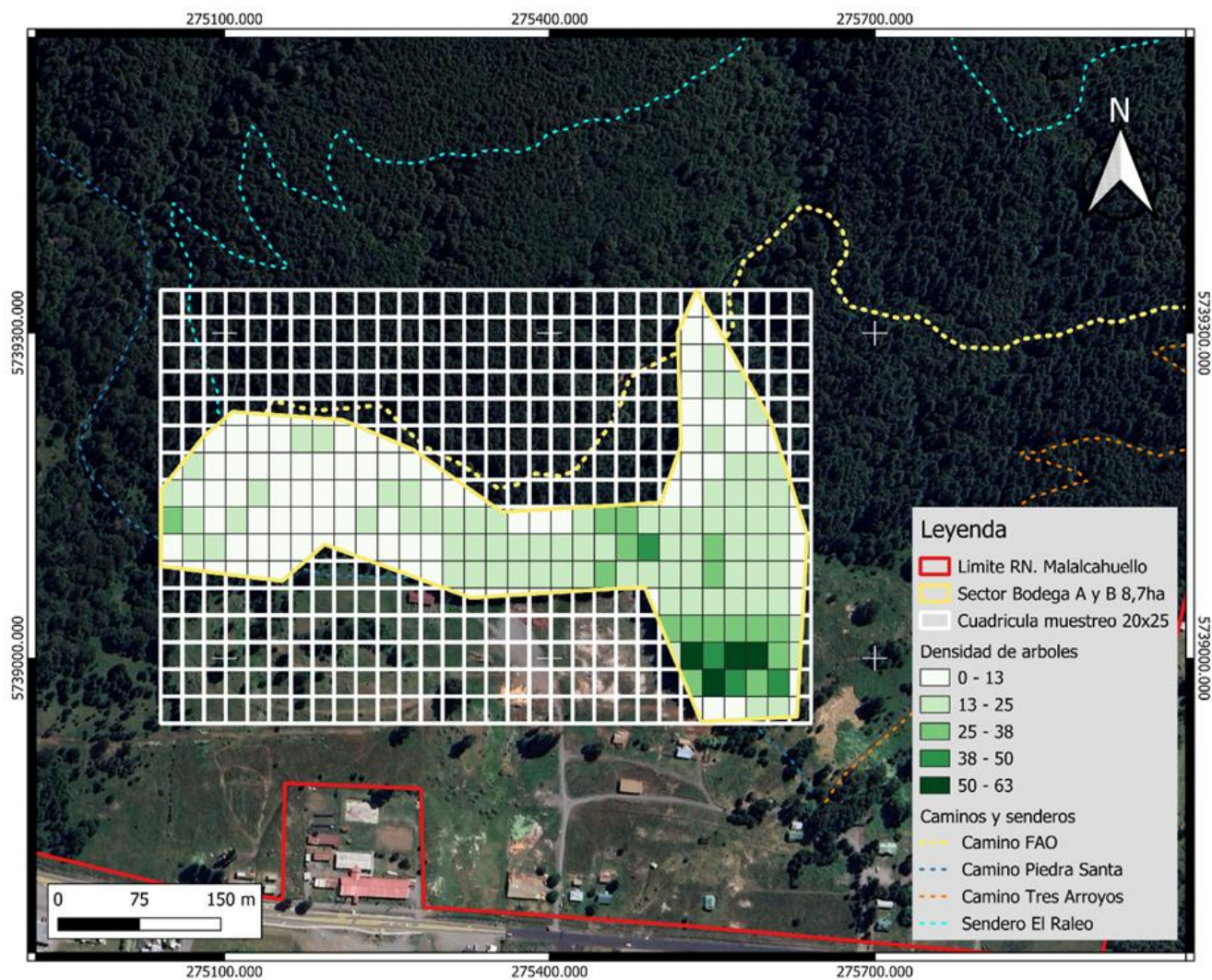
Wasser, L. 2024. What is a CHM, DSM and DTM? About Gridded, Raster LIDAR Data. The National Ecological Observatory Network. Consultado el 16 de diciembre del 2025. Disponible en: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/chm-dsm-dtm>.

Wienstroer, Marion, Siebert, Herbert, & Müller-Using, Burkhard. (2003). Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la precordillera andina de Valdivia. *Bosque (Valdivia)*, 24(3), 17-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300002>

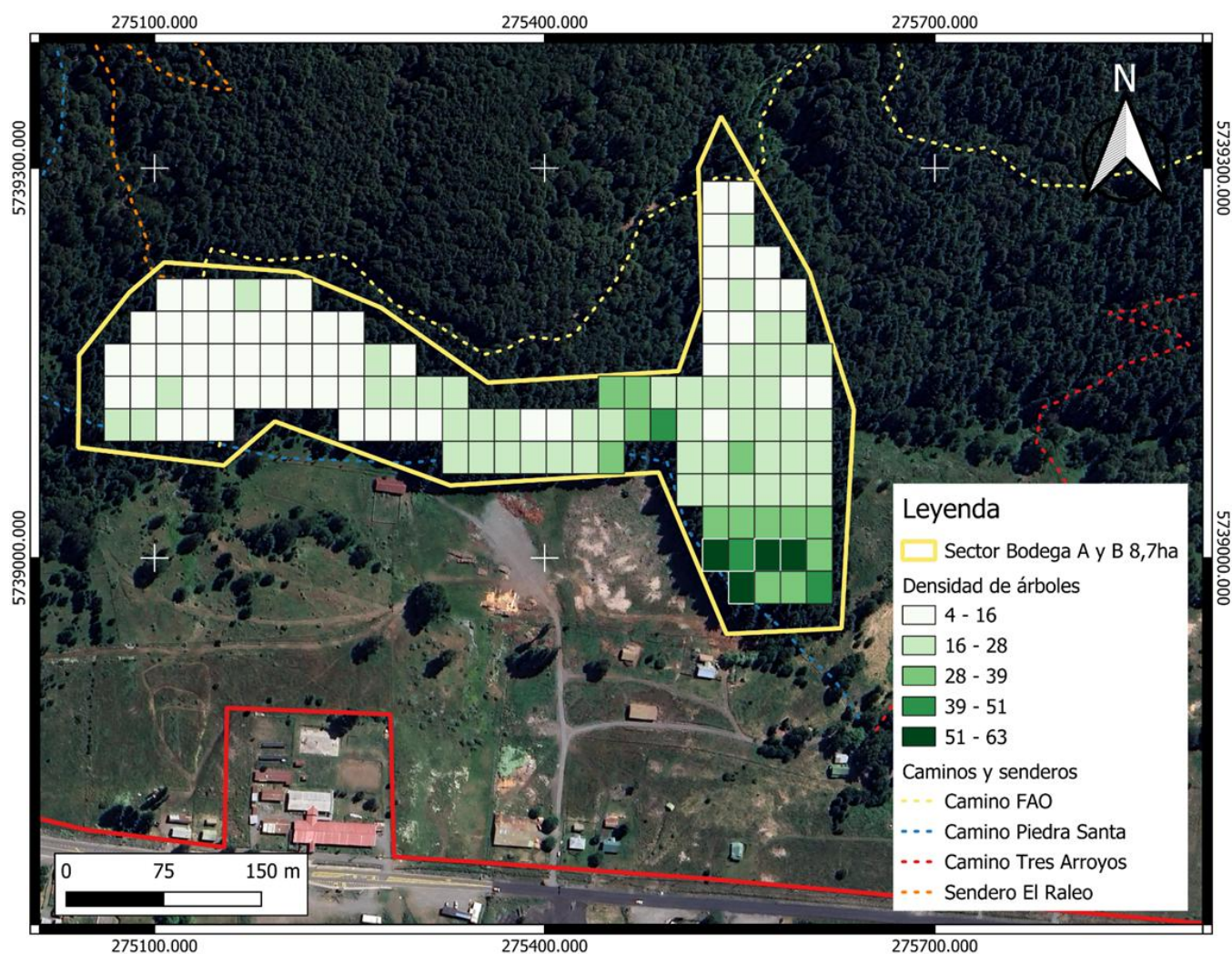
Zettler, J. A., Taylor, M. D., Allen, C. R., & Spira, T. P. (2004). Consequences of Forest Clear-Cuts for Native and Nonindigenous Ants (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 97(3), 513-518. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2004\)097%255B0513:COFCFN%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2004)097%255B0513:COFCFN%255D2.0.CO;2)

9. ANEXOS Y/O APENDICES

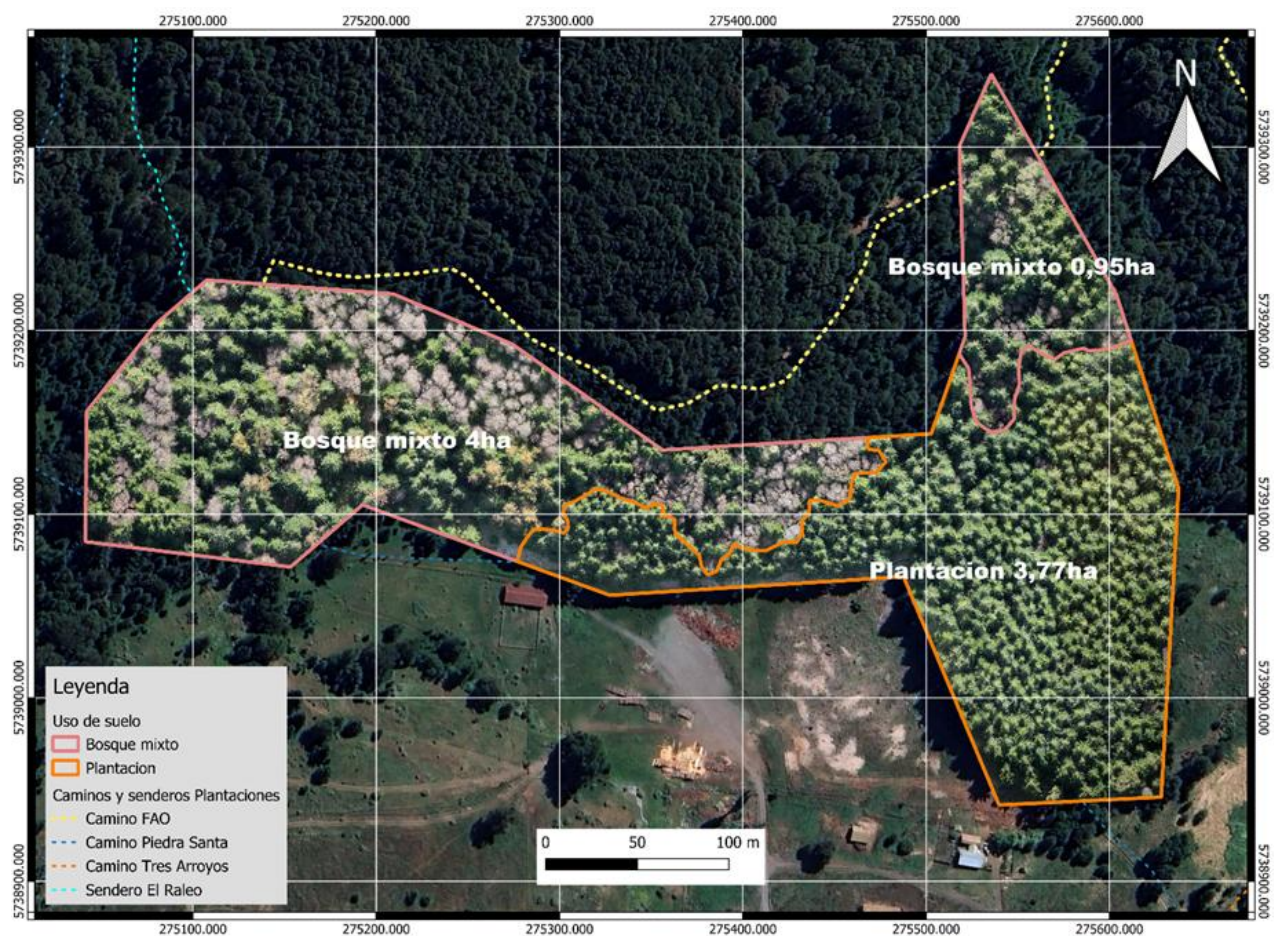
Anexo 1. Elaboración de cuadrícula con cuadros de 20x25 metros para el rodal de estudio. Las categorías presentadas muestran distintas densidades de árboles.



Anexo 2. Representación de los cuadros de 20x25 ajustado para el rodal de estudio. Las categorías muestran la densidad de árboles para el rodal. Los cuadros presentados tienen una superficie de 500 m².



Anexo 3. Representación de los usos de suelo al interior del rodal de estudio. La ortofoto obtenida con el vuelo drone fue utilizada para realizar la fotointerpretación. Se identificaron 2 usos de suelo al interior del rodal de estudio. Bosque mixto con presencia de plantación de pino oregon y parches de bosque nativo y una plantación pura de pino oregon.



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y MEDIOAMBIENTE
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA



**Revisión sistemática sobre métodos de cosecha y sus impactos:
fundamentos para la conversión de *Pseudotsuga menziesii* a
bosque nativo en RN Malalcahuello**

Germán Alexander Nahuelan Navarrete

Profesor: Rodrigo Ignacio Vargas Gaete

TEMUCO – CHILE

Noviembre, 2025

Índice

Índice	53
1. Introducción	54
2. Marco teórico sobre métodos de cosecha y regeneración	56
2.1 Métodos de cosecha forestal	56
2.1.1 Métodos coetáneos	57
2.1.2 Métodos multietáneos	58
3. Metodología	59
3.1 Revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha forestal	59
3.2 Selección y clasificación de los artículos en los métodos de cosecha forestal	60
3.3 Clasificación de los principales tópicos de investigación científica en cosecha forestal	62
4. Resultados	64
4.1 Revisión de literatura científica sobre métodos de cosecha forestal	64
a) Literatura a nivel global	64
b) Investigación sobre métodos de cosecha y regeneración	65
4.2 Tópicos de investigación en la literatura científica asociados a la cosecha forestal	67
4.2.1 Tópicos a nivel global	67
4.2.1 Tópicos a nivel nacional	68
4.3 Impactos de la cosecha forestal sobre los servicios ecosistémicos	69
4.3.1 Categorías	69
4.3.2 Subcategorías	70
4.4 Efectos de la cosecha forestal sobre los servicios ecosistémicos	72
4.4.1 Subcategorías de servicios ecosistémicos	72
4.4.1.1 Tala rasa	21
4.4.1.2 Corta de retención variable	21-22
4.4.1.3 Tala rasa en fajas	23
5. Discusión	24-25
6. Conclusiones	78
7. Referencias	79

Introducción

La explotación del bosque nativo en Chile tuvo un auge a partir del siglo XIX, en la zona norte la industria minera requería biomasa para fundir metales como el cobre y la plata, y se explotaron y desceparon extensas superficies de bosque (Droppelmann et al. 2019; Monje-Hernández et al. 2024). A principios del siglo XX, el panorama no fue muy distinto, se necesitaba habilitar nuevas superficies con fines agrícolas y se optó por utilizar distintas técnicas para despejar la cubierta vegetal de los terrenos de la zona centro – sur del país mediante el uso del fuego y métodos de tala selectiva que se enfocó en especies de alto valor maderero (Monje-Hernández et al. 2024; Vargas-Gaete et al. 2024; Armesto et al. 2010; Elizalde, 1970). Esta época de explotación maderera tuvo un boom con la introducción del transporte ferroviario, la creación de vías férreas y el uso de aserraderos con los cuales se intensificó la extracción de madera (Armesto et al, 2010; Monje-Hernández et al. 2024). El paisaje de Chile fue cambiando, los bosques descritos por los cronistas de la época desaparecieron, y los rendimientos de las nuevas tierras agrícolas disminuyeron (Elizalde, 1970).

A inicios del siglo XX el paisaje a nivel nacional se caracterizaba por presentar extensas superficies de suelo desarboladas (Barros-Asenjo et al. 2018) y estaba siendo afectado por la erosión del suelo y el aumento de la sedimentación de ecosistemas de agua dulce como ríos y lagos (Armesto et al. 2010). El desmonte que utilizaba el roce a fuego por parte de colonos era habitual en los territorios del sur de Chile (Instituto Forestal de Chile, 2009; Elizalde, 1970). Ante este escenario, el gobierno de la época decidió implementar políticas ambientales con el fin de promover la protección de las tierras severamente dañadas por la erosión y ecosistemas críticos (Armesto et al. 2010). En 1910 una de las primeras medidas fue contratar al silvicultor alemán Federico Albert que tuvo como misión evaluar la magnitud de la pérdida del suelo y asesorar sobre cómo controlar el problema. La primera propuesta consistió en la introducción de especies de rápido crecimiento como *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.* (Instituto Forestal de Chile, 2009; Armesto et al. 2010). El éxito en el establecimiento de estas especies en terrenos degradados llamó la atención del sector privado quienes incentivados por la Ley de Bosque Nativo de 1931 plantaron cerca de 8.000 hectáreas (Prado D., 2015). Paulatinamente las plantaciones forestales comenzaron a sustituir a los terrenos agrícolas debido al alto valor de la forestación en relación con la agricultura convencional (Armesto et al. 2010).

Actualmente, Chile, se encuentra en el quinto lugar de los países con la mayor superficie de plantaciones en el continente americano, alcanzando ~3,1 millones de hectáreas (CONAF, 2024). Entre las especies exóticas plantadas en territorio nacional se encuentran: *Pinus radiata* que representa el 59,9% de la superficie de plantaciones a nivel nacional (pino de monterrey), especies del género *Eucalyptus* con 35,9% del total y *Pseudotsuga menziesii* con un 0,6% de superficie (pino oregón) (Salas et al. 2016; CONAF, 2024). También existen plantaciones de *Pinus ponderosa* con un 0,7% de superficie (pino real americano) en la zona norte de la Patagonia. Todas estas plantaciones se encuentran distribuidas principalmente en la zona centro - sur, en el caso de las plantaciones de *P. radiata* se encuentran ubicadas en la Cordillera de la Costa y en las partes bajas de la cordillera de los Andes (i.e., 37° hasta 41° S; Salas et al. 2016; Toro y Gesell, 1999). Además de especies exóticas Chile cuenta con 6.500 hectáreas de plantaciones con especies nativas, principalmente del género *Nothofagus* como son las pioneras *Nothofagus obliqua* (roble), *Nothofagus alpina* (raulí) y *Nothofagus dombeyi* (coigüe) (Salas et al. 2016; Donoso, 2006).

Independientemente de si se componen de especies exóticas o nativas, a nivel global y local, las plantaciones forestales usualmente se manejan bajo prácticas silviculturales altamente intensivas en las cuales se aplican productos químicos, raleos sucesivos, cosecha a gran escala y mecanizada, todo ello con el fin de obtener altos volúmenes en un corto periodo de tiempo, inferior a los 18 años (Salas et al. 2016; Meneses & Guzmán, 2000). En cuanto a la selección de especies a plantar, ésta se realiza considerando las condiciones del sitio (climáticas y de suelo) y en algunos casos se desarrollan programas intensivos de mejoramiento genético que tiene como objetivo seleccionar plantas con alto valor genético a partir de ensayos de progenie (Rubilar et al. 2008). Mientras que el establecimiento de las plantaciones tradicionalmente consistió en el roce, quema y plantación manual, la cual ha evolucionado y actualmente en las grandes empresas se utiliza plantación mecanizada con un fuerte control químico de malezas al momento de plantar (Meneses & Guzmán 2000). Respecto al modelo de plantación, impuesto con la Ley Forestal de 1974, corresponde al monocultivo de especies como el *Pinus radiata* y especies del género *Eucalyptus* (Farris, 2021; Prado, 2015), los cuales son aprovechados mediante la aplicación de distintos métodos de cosecha también conocidos como métodos de cosecha y regeneración, siendo estos: a) tala rasa, b) corta de protección, c) árbol semillero y/o d) corta selectiva (Donoso y Navarro, 2022), sin embargo, solo se aplica como cosecha final el método de tala rasa (Salas et al. 2016)

Salas et al. (2016) mencionan que los temas investigados de manera recurrente en materia de plantaciones forestales en Chile corresponden principalmente a: establecimiento de viveros, mejoramiento genético, manejo integrado de plagas, tratamientos silviculturales como aclareos y poda, planificación forestal, simulaciones de crecimiento y mercado de carbono, mientras que la investigación de bosque nativo está relacionada con la ecología y dinámica del bosque, genética y silvicultura. Se avanza en temas como la restauración de ambientes degradados mediante proyectos de investigación de empresas privadas y servicios públicos, sin embargo, la falta de financiamiento en estos temas sigue siendo un problema (Salas et al. 2016; Donoso y Promis, 2013). De acuerdo con lo expuesto anteriormente la conversión de plantaciones a bosque nativo es una de las temáticas que se encuentra poco estudiada y con un bajo nivel de financiamiento. Si bien, en los últimos años se ha avanzado en estudios asociados a restauración de bosque nativo, existen pocos ejemplos sistematizados que hayan abordado la regeneración de especies nativas en plantaciones (Kremer et al. 2024), y menos proyectos a gran escala que se refieran a la conversión de superficies extensas de plantaciones forestales a bosque nativo en Chile

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo proponer la conversión de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* a Bosque Nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, a partir de una revisión bibliográfica sistemática. Para ello se desarrolla una revisión sistematizada de la investigación científica asociada a métodos de cosecha forestal tanto a nivel internacional como nacional. Posteriormente se sistematizan los impactos documentados que dichos métodos generan sobre los recursos naturales y servicios ecosistémicos. Finalmente, considerando los antecedentes recopilados mediante la revisión bibliográfica sistemática, se elabora una propuesta de conversión de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* a bosque nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello.

Marco teórico sobre métodos de cosecha y regeneración

2.1 Métodos de cosecha forestal

“Los métodos silviculturales o métodos de cosecha y regeneración, ya que al cosechar se debe pensar en cómo se establecerá el futuro bosque por lo que son dos actividades que se desarrollan conjuntamente cuando se aplica un método silvicultural” (Donoso y Navarro, 2022). Corresponden a un proceso planificado en el cual se cuida, cosecha y restablece un rodal (Adams et al. 1994). Este proceso cuenta con un conjunto de acciones que se desarrollan en el rodal hasta llegar a la cosecha, las cuales nombran a los sistemas silviculturales o silvícolas, que corresponden a tala rasa, corta de

protección, árbol semillero y corta selectiva o corta de selección (Instituto Forestal (Chile), 2009; Donoso y Navarro, 2022). Uno de los métodos alternativos a los antes mencionados corresponde a la corta de retención variable la cual tiene objetivos ecológicos de conservación de atributos del bosque (Martínez Pastur et al., 2020). Los métodos de cosecha pueden ser clasificados según la estructura de clase de edad que generan (Fig. 1), es decir, bosques coetáneos cuando los individuos son de edades iguales y bosques multietáneos cuando los individuos presentan edades desiguales (Hanewinkel, 2002, Adams et al, 1994), esta clasificación permite agrupar a los métodos de cosecha y regeneración en métodos coetáneos y multietáneos (Donoso y Navarro, 2022).

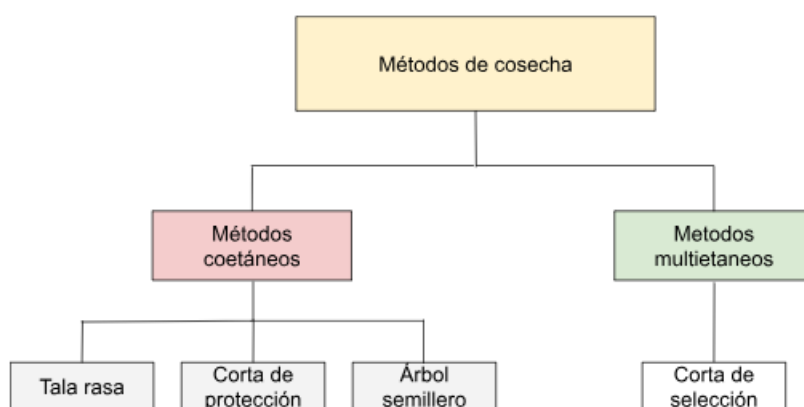


Fig. 1. Los métodos silviculturales o métodos de cosecha y regeneración pueden ser clasificados de acuerdo con la estructura de edad del bosque que generan, es así como los métodos coetáneos son aquellos que generan bosques de edades iguales y agrupan los sistemas silviculturales o silvícolas como: tala rasa, corta de protección y árbol semillero, mientras que los métodos multietáneos generan bosques de edades desiguales y contienen el sistema silvicultural “corta de selección” (Donoso y Navarro, 2022)

2.1.1 Métodos coetáneos

- a) Tala rasa: Es un método de edad uniforme (Fig. 2), en el cual se cortan todos los árboles en una superficie definida mediante una intervención única, cuenta con una variante tala rasa en fajas con la cual se realiza fajas en la plantación generalmente sobre 40 m de ancho. El sitio queda en condiciones similares a la de un campo abierto y la regeneración futura se obtiene mediante regeneración natural o artificial (Adams et al., 1994; Donoso y Navarro, 2022).

- b) Corta de protección: método que consiste en la corta de árboles con edades uniformes que tiene como objetivo dejar una cierta cantidad de árboles en la superficie cortada (Fig. 2), con el fin de proveer sombra parcial a la regeneración de especies con distintos grados de tolerancia que se está instalando bajo la cobertura de los árboles en pie (Donoso y Navarro, 2022; Instituto Forestal (Chile), 2009).
- c) Árbol semillero: es un método de corta de árboles de edades uniformes que consiste en mantener un número determinado de individuos en la superficie cosechada (Fig. 2), idealmente de manera uniforme con el fin de que estos puedan proveer una buena distribución de semillas en el área cortada (Donoso y Navarro, 2022).

2.1.2 Métodos multietaneos

- d) Corta de selección o corta selectiva: este método corresponde al conjunto de cortas de cosecha y regeneración y cortas intermedias (Fig. 2) que se aplican a un rodal con el fin de generar un bosque multietaneo (Donoso y Navarro, 2022; Instituto Forestal (Chile), 2009)

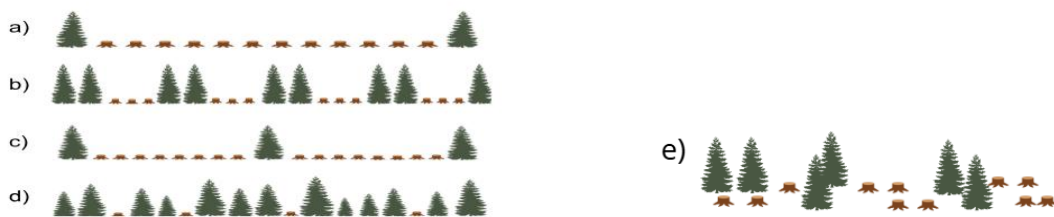


Fig. 2. Representación de los métodos de cosecha. Se puede apreciar que la tala rasa y árbol semillero son los métodos con la menor cobertura arbórea, mientras que la corta de protección y corta selectiva son los métodos con mayor cobertura arbórea (Donoso y Navarro 2022)

- e) Corta de retención variable: Puede considerarse como un método multietaneo aunque no cumple esa función necesariamente, tiene como objetivo retener los elementos estructurales del bosque durante la cosecha de regeneración para lograr objetivos específicos, buscando mantener la diversidad y otros servicios ecológicos del bosque (Martínez Pastur et al., 2020).

Metodología

3.1 Revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha forestal

La revisión bibliográfica sistematizada se realizó siguiendo el método PRISMA, utilizando palabras clave, conectores y buscadores con el fin de identificar publicaciones científicas indexadas sobre métodos de cosecha asociados a plantaciones forestales (Urrutia y Bonfill 2010). Para la revisión de literatura internacional se utilizó el metabuscador Scopus (i.e., www.scopus.com) con la siguiente entrada de palabras claves; ("Harvesting methods" OR "Harvesting treatment" AND ("Plantation" OR "forest" OR "clear cut" OR "selective logging" OR "selective cutting" OR "shelterwood cutting" OR "Strip cutting" OR "douglas fir")). Las palabras AND y OR corresponden a operadores booleanos los cuales ayudan a definir cómo interactúan los términos de búsqueda (Harling, 2025). Cuando se utiliza "AND" el buscador incluye todos los artículos que contengan los términos introducidos, mientras que "OR" combina dos o más términos diferentes e incluye artículos que contengan una u otra palabra, mientras que el uso de paréntesis permite agrupar términos evitando la procedencia de resultados inesperados (Avelar & Toro, 2018). Se consideró como filtro de búsqueda las palabras claves presentes en el resumen, título, palabras claves de los autores. Para el rango de años se consideraron todos los artículos disponibles hasta el año 2025, no se agregó ningún filtro adicional.

La identificación de artículos nacionales se realizó de la misma manera añadiendo la palabra clave "Chile". En este caso, con la idea de recabar más información respecto a trabajos y documentos sobre cosecha de plantaciones en Chile no indexados, se realizó una búsqueda de literatura gris entendida como aquellos documentos que no se difunde por los canales ordinarios de publicación comercial, y que plantea problemas de acceso, ejemplo de ello son las tesis de pre y posgrado, informes de investigación, informes técnicos y documentos de sociedades científicas (Formación Universitaria, 2011). Se utilizó el buscador bibliográfico Google Académico (scholar.google.com), el cual permite acceder a tesis, libros, resúmenes, artículos científicos e informes técnicos (Franco-Pérez, 2023), la base de datos del instituto Nacional Forestal que contiene publicaciones del sector forestal chileno y el mundo (i.e., INFOR, www.infor.cl), además de los repositorios de la Universidad de Chile (i.e., UChile, www.repositorio.uchile.cl), Universidad de Concepción (i.e., UdeC, www.repositorio.udec.cl) y Universidad Austral (i.e., UACH, www.biblioteca.uach.cl). Se utilizó el gestor de referencias bibliográficas Zotero 7.0.24 (64-bit) con el fin de gestionar los artículos científicos consultados (Toy-Opazo et al. 2024) y Rstudio versión 4.5.0

3.2 Selección y clasificación de los artículos en los métodos de cosecha forestal

La selección de artículos se realizó mediante fases previas la cual consistió en la aplicación de dos criterios de exclusión: (1) tipo de documento, con ello se descartaron los reportes, revisiones y libros, solo se consideraron los artículos científicos (Toy-Opazo et al. 2024), esto con el fin de contar con información confiable, original y actualizada sobre los métodos de cosecha. (2) mención de los métodos de cosecha (tala rasa, corta de protección, árbol semillero y corta selectiva o corta de selección) en: a) resumen, b) palabras clave del autor, c) palabras clave indexadas y/o d) título. Todos los artículos científicos que cumplieron los requisitos definidos fueron posteriormente clasificados según los distintos métodos de cosecha forestal mencionados en el resumen (Fig. 3). La base de datos internacional contó inicialmente con 585 artículos la cual después de aplicar el criterio de inclusión (1) se redujo a 498 artículos. La clasificación de artículos en métodos de cosecha se realizó con la nueva base de datos (n=498) con la que se obtuvo un n=112 artículos relacionados a los métodos de cosecha forestal. Posterior a la lectura del resumen, se presentaron artículos que investigaban más de un método de cosecha por artículo, por lo que cada mención de un método de cosecha distinto en uno de los ítems del criterio de inclusión (2) se consideró como un artículo adicional. Con ello la base de datos internacional pasó de un n=86 artículos a un n=113 registros. La base de datos de literatura gris a nivel nacional conto con un n=57 trabajos que luego de la aplicación de los criterios de inclusión paso a un n=26 trabajos, al momento de clasificar los trabajos en los métodos de cosecha forestal el n aumento a n=29 registros.

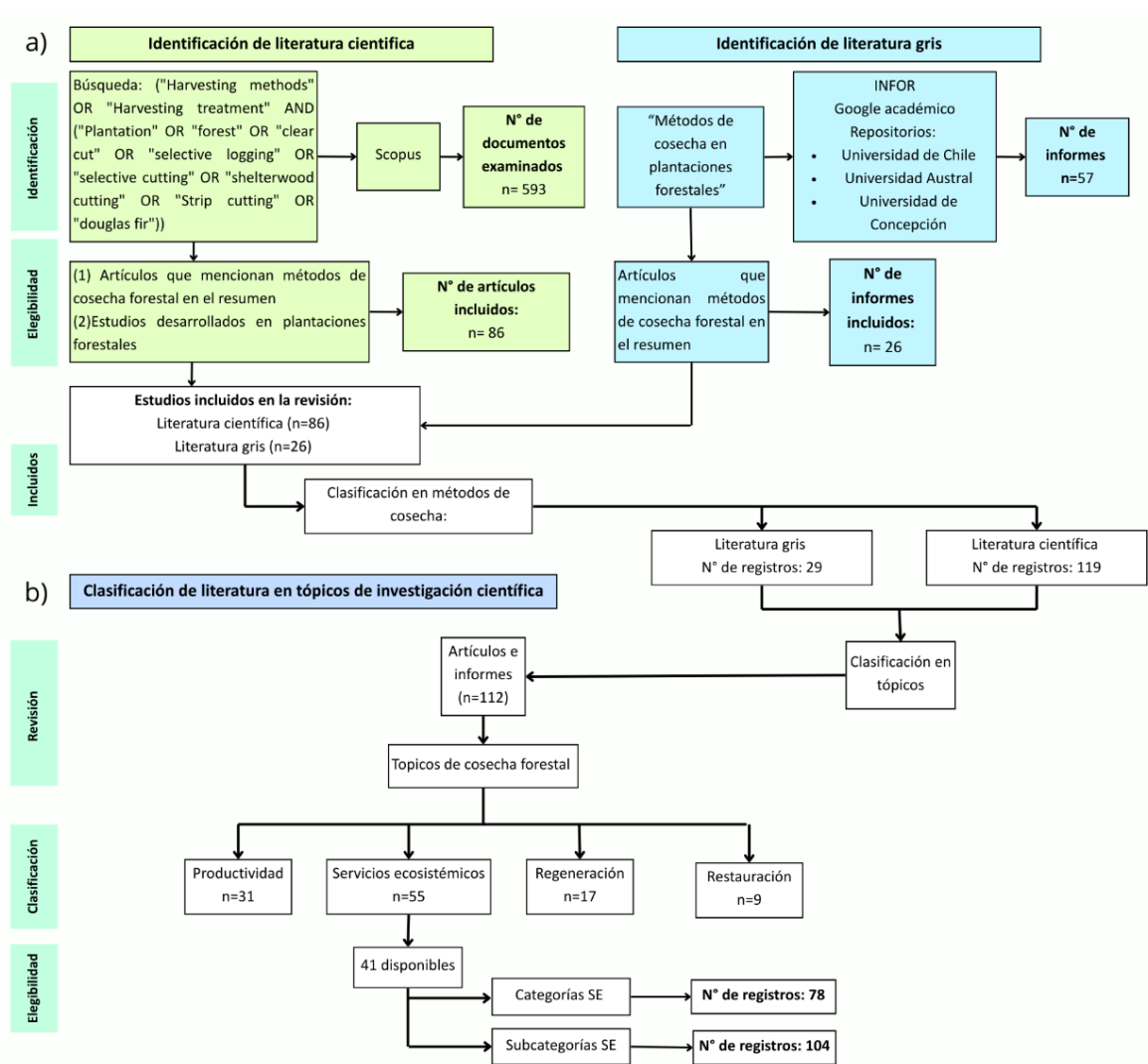


Fig. 3. Diagrama de flujo que muestra las etapas de selección y posterior clasificación de artículos científicos. El diagrama consta de 2 etapas; (a) corresponde a la búsqueda de literatura científica a nivel global y nacional y la búsqueda de literatura gris a nivel nacional. Ambos cuentan con criterios de inclusión como la mención de métodos de cosecha en el artículo (resumen, título, palabras indexadas) y que los estudios se hayan desarrollados en plantaciones forestales, además considera fases de identificación, elegibilidad e inclusión para la posterior clasificación en los métodos de cosecha forestal. (b) etapa que consiste en la identificación de artículos asociados a los métodos de cosecha forestal y que investigan tópicos relacionados a los servicios ecosistémicos, las fases consisten en la revisión de los artículos, clasificación en tópicos de investigación científica asociados y posterior elegibilidad de los artículos para ser clasificados en las categorías y subcategorías de servicios ecosistémicos y realizar el posterior análisis de impactos y efectos de la cosecha forestal. Adaptado de Toy-Opazo et al. (2024)

3.3 Clasificación de los principales tópicos de investigación científica en cosecha forestal

A partir de la lectura del resumen, título, palabras clave del autor y palabras claves indexadas de los artículos científicos seleccionados tras la aplicación de los criterios (1), (2) y “selección” (Fig. 3), estos se clasificaron (n=112) arbitrariamente según los tópicos principales tratados en ellos, los cuales fueron: regeneración, productividad, restauración y servicios ecosistémicos.

Los artículos incluidos en la categoría de regeneración (n=17) presentaron palabras asociadas a: apertura de claros, cortas parciales o controladas, banco de semillas, métodos de cosecha, estrategias para la semillación, todas ellas orientadas a la regeneración de especies mediante los distintos métodos existentes de reproducción de bosque (Donoso, 2006; Instituto Forestal (Chile), 2009), o directamente mencionar la palabra regeneración ya sea en el resumen, título, palabras clave del autor y/o palabras clave indexadas. En el caso de la productividad (n=31) los artículos incluidos contaron con menciones a temas relacionados a los costos del transporte y cosecha, innovación tecnológica en el uso de maquinaria, rendimiento y ganancias (Sadanandan Nambiar, 1999). Los artículos asociados a restauración (n=9) presentaron palabras relacionadas a: disturbios, dinámica de bosques después de una perturbación, las acciones para recuperar los ecosistemas a cómo eran antes de la perturbación (Sociedad Internacional de Restauración, SER, 2004) y/o mencionan “restauración” en el resumen. Los artículos incluidos en servicios ecosistémicos (n=55) mencionaron palabras asociadas a los servicios de regulación, soporte, culturales y/o provisión (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) como son biomasa, biodiversidad, diversidad, índices de diversidad, suelo, abundancia de especies, agua, ciclo de nutrientes, captura de carbono, temperatura entre otras, presentes ya sea en el resumen, título, palabras clave del autor y palabras clave indexadas que proporcionan los artículos científicos.

3.4 Impactos de la cosecha forestal sobre los servicios ecosistémicos

El análisis se realizó con los artículos asociados al tópico servicios ecosistémicos que inicialmente contaba con un n=41 a nivel internacional que se sumó a los artículos nacionales n=14 obteniendo un tamaño final de n=55. Los artículos seleccionados y disponibles n=40 se clasificaron en categorías y subcategorías descritas por el Millennium Ecosystem Assessment (i.e., MEA, www.millenniumassessment.org) (Fig. 4). La clasificación en categorías se realizó a partir de la lectura completa del artículo. Para que un artículo fuera clasificado en una de las categorías de servicios ecosistémicos debía incluir investigación asociada a una de las subcategorías de ese

servicio, es así como los artículos que incluyeron investigación asociada a una de las subcategorías de soporte (Fig. 4) automáticamente fue clasificado en la categoría de soporte y así con las siguientes categorías. Luego de la lectura de los artículos, se presentaron artículos que investigaron más de una categoría de servicio ecosistémico por lo que cada subcategoría adicional investigada en un artículo se consideró como un registro por lo que el tamaño pasó de un $n=40$ artículos a un $n=78$ registros en esta etapa.

La clasificación en subcategorías se realizó mediante la relación de la investigación presentada en los artículos con la subcategoría más adecuada para representarlo. Es así como los artículos relacionados a la subcategoría ciclo de nutrientes presentaron investigación relacionada al movimiento de nutrientes orgánicos e inorgánicos (Odum, 1986). Los artículos asociados a la subcategoría productividad primaria presentaron investigación asociada a la actividad fotosintética de las plantas (Odum, 1986). Artículos relacionados a la formación del suelo presentaron investigación relacionada a las características del suelo, compactación, presencia de materia orgánica (FAO, 1996). Los artículos asociados a la subcategoría biodiversidad investigaron temas relacionados a la diversidad de especies, abundancia de especies de flora y fauna en los ecosistemas cosechados (Convention on Biological Diversity, 1992). Los artículos relacionados a la subcategoría regulación de plagas y enfermedades desarrollaron investigación asociada a la presencia de insectos dañinos para las plantas al utilizar métodos de cosecha (Secretaria de la CIPF, 2022). Los artículos relacionados a la subcategoría regulación del clima desarrollaron investigación asociada a variables ambientales como la temperatura, humedad y velocidad del viento después de la aplicación del método de cosecha (Corredor-Camargo et al, 2012; IPCC, 2002). Los artículos asociados a la subcategoría de regulación de inundaciones realizaron investigación asociada al nivel del caudal, temperatura del agua entre otros (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Corredor-Camargo et al, 2012; Krauze & Wagner, 2007), mientras que los artículos relacionados a la subcategoría biomasa definida como el peso de materia orgánica presente en un determinado ecosistema forestal (Gayoso et al. 2000) incluyó investigación asociada a la biomasa forestal que queda después de la cosecha como restos leñosos, ramas, troncos entre otros.

Posterior a la clasificación de los artículos en subcategorías, se presentaron artículos que investigaron más de una subcategoría de servicio ecosistémico por lo que el tamaño pasó de un $n=78$ registros en la etapa de clasificación en categorías a un $n=104$ registros en la etapa de clasificación en las subcategorías de servicios ecosistémicos.

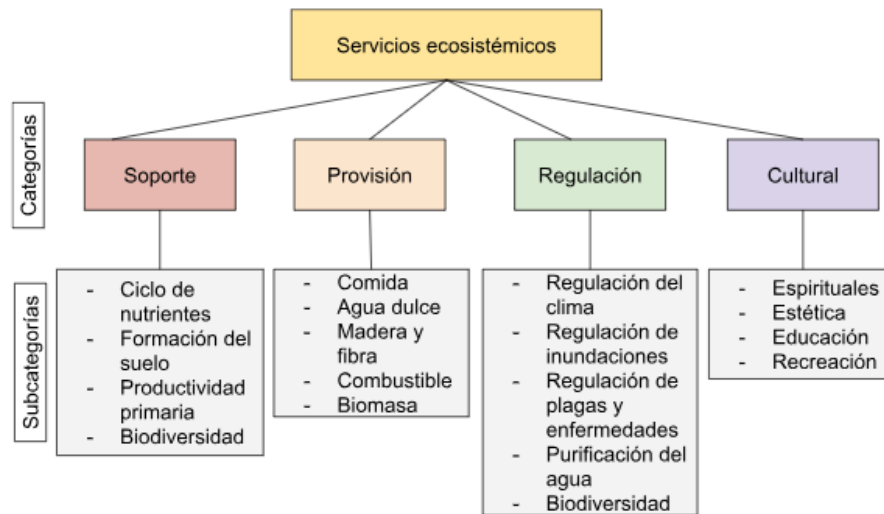


Fig. 4. Esquema que muestra la clasificación de los servicios ecosistémicos en sus respectivas categorías; soporte, provisión, regulación y cultural, además de la influencia sobre los distintos procesos, elementos del medio ambiente. Adaptado de MEA (2005)

Resultados

4.1 Revisión de literatura científica sobre métodos de cosecha forestal

a) Literatura a nivel global

La revisión de literatura relacionada a métodos de cosecha en plantaciones de tipo forestal dio como resultado un total de 112 artículos (100%), de ellos el 73% (n= 82) corresponde a literatura científica a nivel global mientras que el 27% (n=30) se encuentra asociado a literatura científica (n=4) y literatura gris (n=26) a nivel nacional (Fig 5).

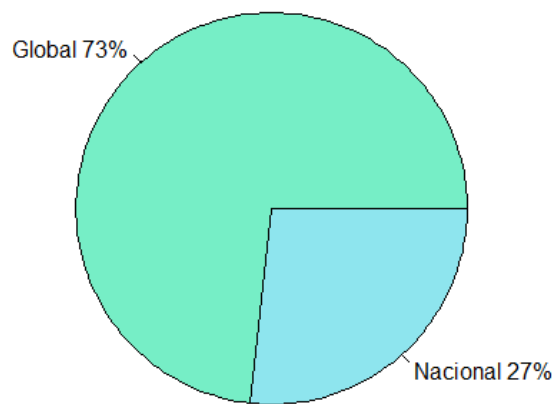


Fig. 5. Número de trabajos asociados a la búsqueda de literatura tanto a nivel global como nacional. El n se encuentra representado en % y corresponde al número de publicaciones relacionadas a los métodos de cosecha en plantaciones forestales en base a criterios establecidos. La búsqueda internacional se centró en artículos científicos, mientras que la nacional contó con una búsqueda de literatura gris y científica.

b) Investigación sobre métodos de cosecha y regeneración

La búsqueda de literatura científica a nivel global asociada a métodos de cosecha en plantaciones y posterior clasificación en métodos de cosecha dio como resultado un total de 113 registros (Fig. 6). La tala rasa con 63 registros es el método que cuenta con la mayor cantidad de estudios asociados a métodos de cosecha en plantaciones, seguido muy de lejos por los métodos de cosecha; corta selectiva (20 registros), corta de retención variable y corta de protección (12 registros). Ya en último lugar se encuentra la tala rasa en fajas con solo 6 registros asociados a literatura científica.

La búsqueda de literatura científica a nivel nacional dio como resultado valores muy lejanos comparados a búsqueda global, con solo 6 registros (Fig. 6) asociados a métodos de cosecha en plantaciones forestales. Del total, 4 registros se encuentran asociados al método de tala rasa y 2 a tala rasa en fajas. A diferencia de la búsqueda a nivel global, no hay registros asociados a métodos como la tala selectiva, corta de retención variable y corta de protección.

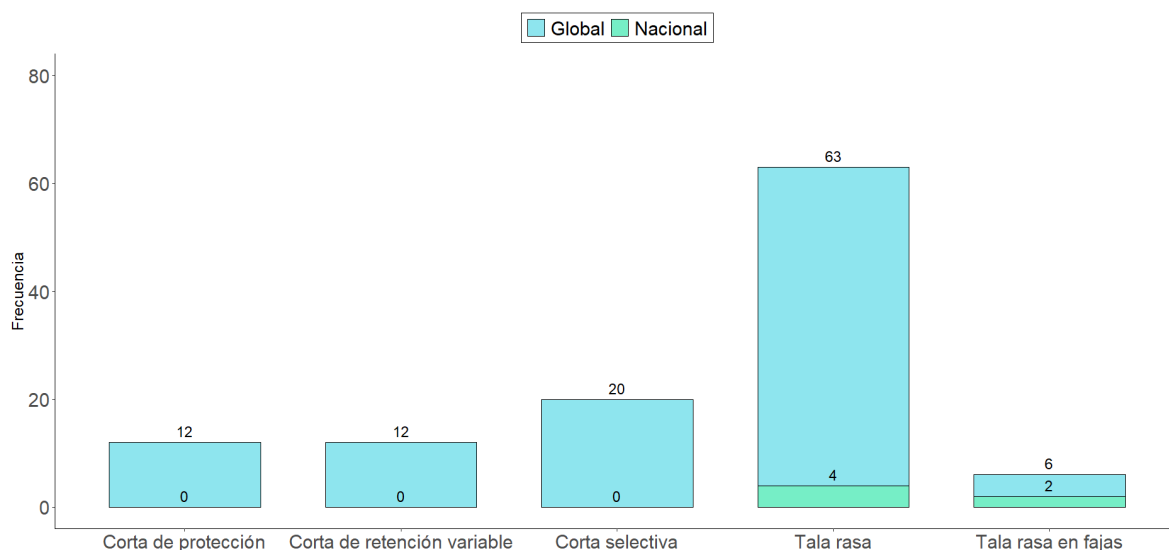


Fig. 6. Número de registros asociados a los cinco métodos de cosecha mencionados en la literatura científica a nivel global y nacional. El N° de registros se obtuvo a partir de la búsqueda, aplicación de criterios establecidos y posterior clasificación en los métodos de cosecha; a) corta de protección, b) corta de retención variable, c) corta selectiva, d) tala rasa y e) tala rasa en fajas. A nivel global el número de artículos científicos asociados a métodos de cosecha asciende a un $n=82$, que luego de la clasificación en los métodos de cosecha se obtuvo un total de $n=113$ registros, mientras que el número de artículos científicos a nivel nacional consistió en un $n=4$ que luego de la clasificación en los métodos de cosecha ascendió a un total de $n=6$ registros.

La búsqueda de literatura gris a nivel nacional asociada a métodos de cosecha en plantaciones forestales, y posterior clasificación en métodos de cosecha dio como resultado un total de 29 registros (Fig. 7), siendo la tala rasa el método de cosecha frecuente en la literatura con 25 registros, seguido por 2 métodos, corta de protección y tala rasa en fajas, con solo 2 registros para cada método. Destaca la ausencia de registros asociada a métodos como la corta de retención y corta de selectiva.

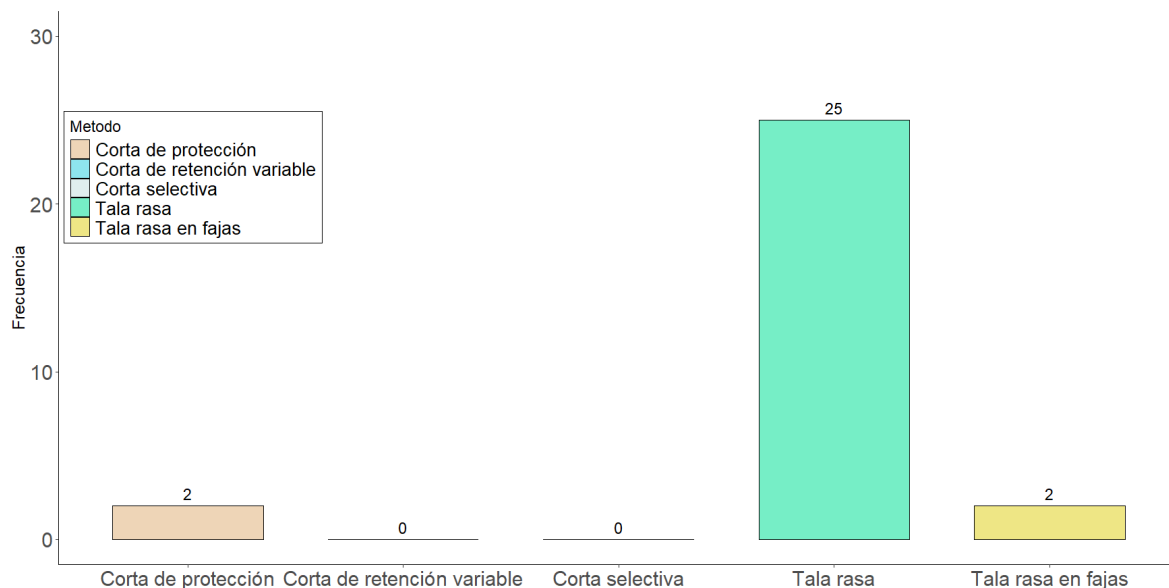


Fig. 7. Número de registros asociados a métodos de cosecha forestal en la búsqueda de literatura gris a nivel nacional. El número de trabajos relacionados a métodos de cosecha en la búsqueda de literatura gris asciende a $n=26$, que luego de la clasificación en los métodos de cosecha; a) corta de protección, b) corta de retención variable, c) corta selectiva, d) tala rasa y e) tala rasa en fajas, se obtuvo un total de $n=29$ registros.

4.2 Tópicos de investigación en la literatura científica asociados a la cosecha forestal

4.2.1 Tópicos a nivel global

A nivel global se obtuvo un total de 82 artículos que desarrollan investigación sobre tópicos relacionados al uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales (Fig 8). Los Servicios ecosistémicos destacan como un tópico frecuente a la hora de realizar investigación en plantaciones forestales. En una segunda línea, con menos de la mitad de las publicaciones asociadas, se encuentran los tópicos de productividad y regeneración con un $n=19$ y $n=17$, respectivamente. Mientras que el tópico de restauración es el que posee la menor cantidad de artículos asociados cuando se investiga sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales.

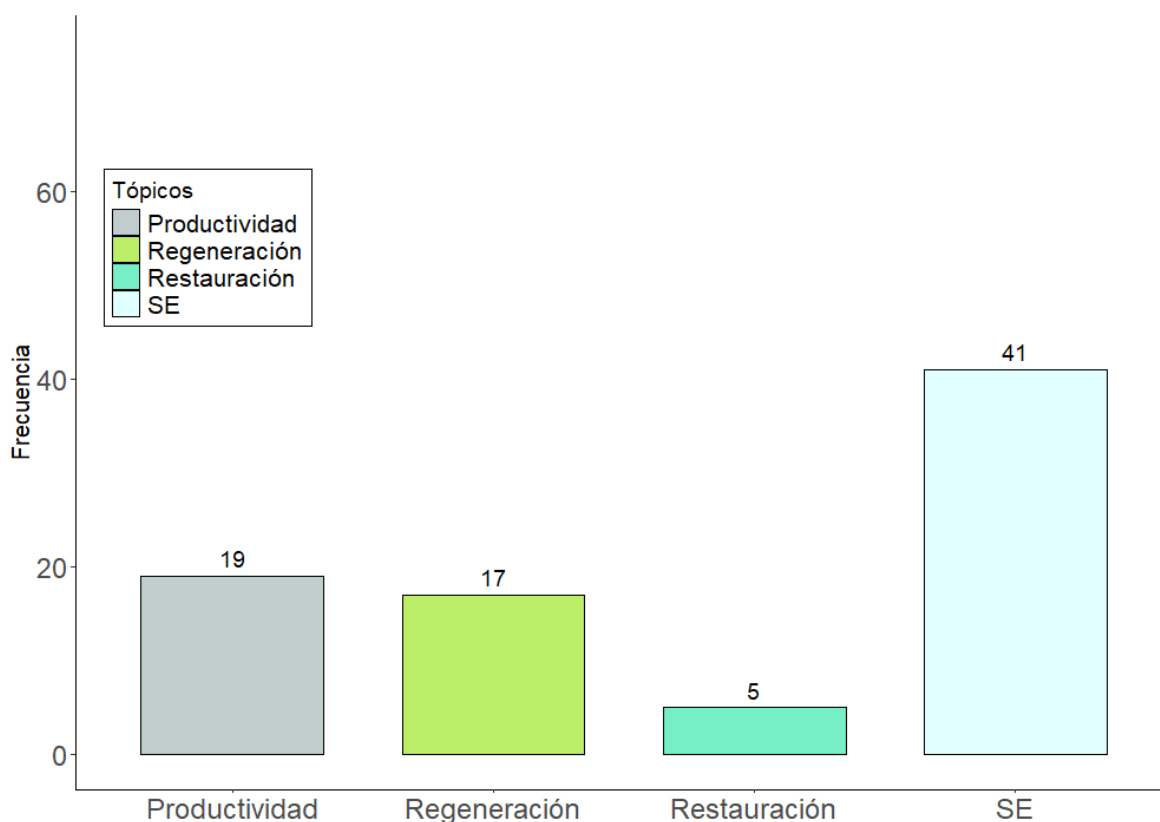


Fig. 8. Número de artículos científicos a nivel global asociados a los métodos de cosecha en plantaciones que reportan hallazgos sobre los tópicos de; a) productividad, b) regeneración, c) restauración, d) servicios ecosistémicos (n=82). La cantidad de artículos mostrados en el gráfico corresponde a la base final obtenida a partir de los criterios establecidos (artículos científicos, mención de métodos de cosecha y estudios desarrollados en plantaciones).

4.2.1 Tópicos a nivel nacional

A nivel nacional la cantidad de literatura científica que desarrolla investigación asociada a tópicos utilizando distintos métodos de cosecha en plantaciones forestales asciende a un n=4 (Fig. 9), de los cuales 2 están relacionados a investigación sobre restauración utilizando distintos métodos de cosecha y tan solo 1 asociado a los tópicos de productividad y Servicios ecosistémicos. Mientras que la literatura gris cuenta con un total de 26 trabajos (Fig. 9), de los cuales 13 se encuentran asociados a investigación sobre el tópico de Servicios ecosistémicos mediante el uso de métodos de cosecha, 11 corresponden al tópico de productividad y tan sólo 2 artículos asociados al tópico de restauración. El tópico de regeneración mediante el uso de métodos de cosecha en plantaciones

forestales no cuenta con artículos científicos y literatura gris a nivel asociada, como sí ocurre a nivel global.

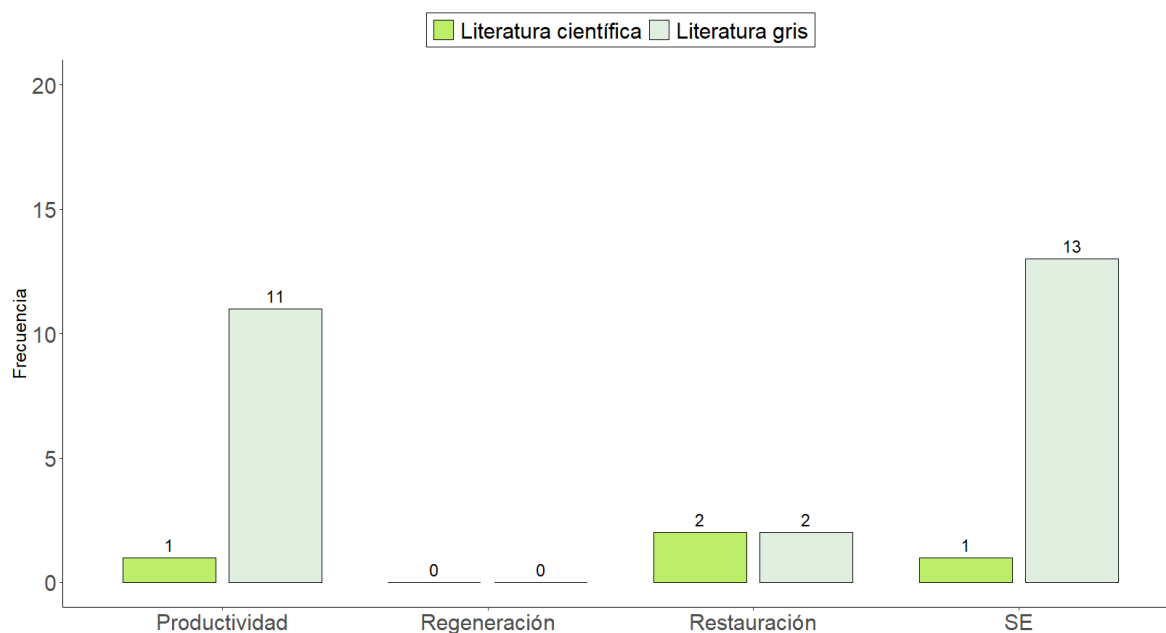


Fig. 9. Número de artículos asociados a tópicos que desarrollan investigación mediante el uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales. Los artículos presentados son el resultado de la búsqueda a nivel nacional tanto de literatura gris como científica los cuales se clasificaron en los 4 tópicos presentados.

4.3 Impactos de la cosecha forestal sobre los servicios ecosistémicos

4.3.1 Categorías

El 50% de los registros asociados al método de corta de retención variable desarrolló investigación de los impactos de la cosecha sobre los servicios ecosistémicos de soporte y solo el 11,1% investigó el impacto sobre los servicios ecosistémicos de provisión (Fig. 10). El 52,6% de los registros relacionados al método de cosecha de tala rasa reportaron impactos sobre los servicios de regulación y solo el 3,5% provisión. Mientras que los artículos científicos asociados a la tala en fajas solo investigaron los impactos sobre los servicios ecosistémicos de regulación y soporte, mientras que el servicio de provisión no cuenta con investigación asociada.

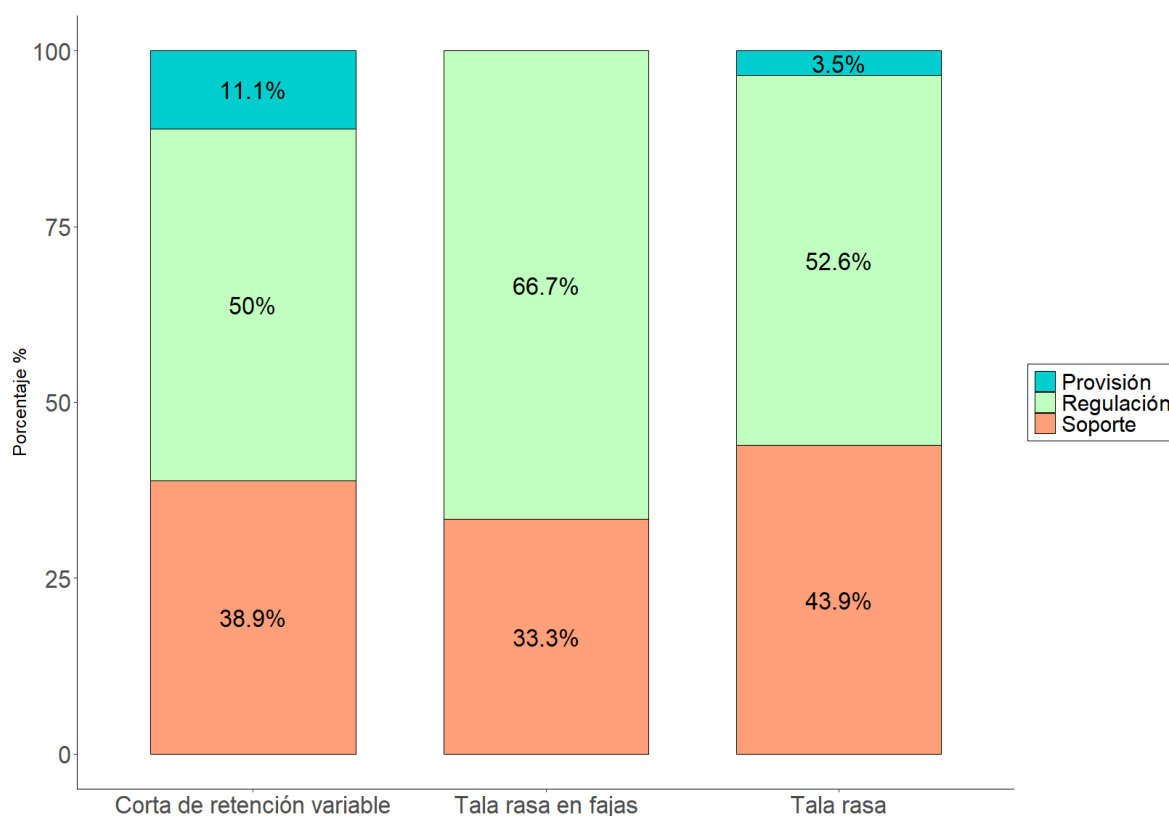


Fig. 10. Impactos de tres métodos de cosecha forestal; corta de retención, tala rasa en fajas y tala rasa, sobre las categorías de servicios ecosistémicos; provisión, regulación y soporte. El gráfico en porcentajes representa el número de registros asociados a los impactos de la cosecha. El número de registros representado asciende a $n=78$ de los cuales $n=18$ corresponden al método de corta de retención variable, $n=3$ se encuentran asociados a la tala rasa en fajas y $n=57$ a la tala rasa. Los registros asociados a la corta de retención variable se componen de; provisión $n=2$, regulación $n=9$ y soporte $n=7$. Los registros asociados a la tala rasa en fajas se componen de; regulación $n=2$ y soporte $n=1$, mientras que los registros de la tala rasa se componen de; provisión $n=2$, regulación $n=30$ y soporte $n=25$.

4.3.2 Subcategorías

El 48% de los registros asociados al método de corta de retención variable desarrolló investigación relacionada a los impactos de la cosecha sobre la biodiversidad y solo el 4% los impactos sobre la formación del suelo (Fig. 11). La investigación desarrollada mediante el uso del método de tala rasa en fajas asociada principalmente a 2 subcategorías de servicios ecosistémicos, el 66,7% de los registros corresponden al servicio ecosistémico de biodiversidad, mientras que el 33,3% restante a estudios sobre la regulación de inundaciones. Los registros relacionados al impacto de la tala rasa

desarrollan investigación sobre los servicios ecosistémicos, biodiversidad con un 44,7% y en menor medida los impactos sobre la productividad primaria 2,6%, purificación del agua 2,6% y biomasa con un 3,9%

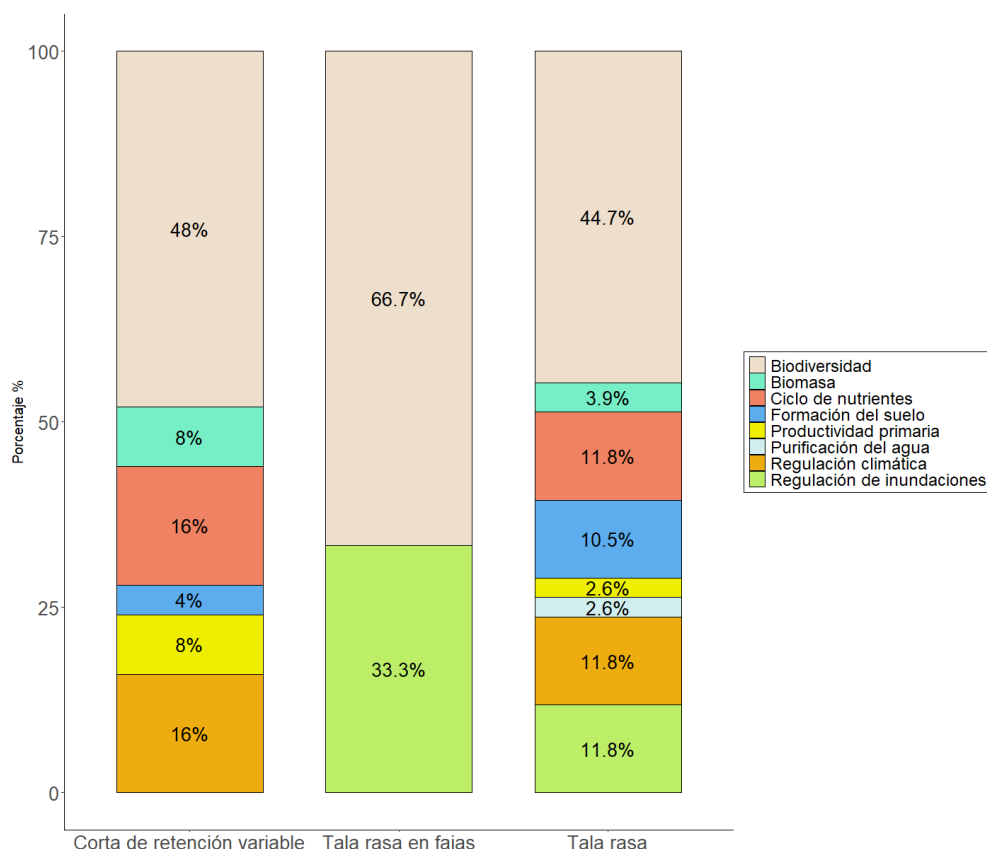


Fig. 11. Impactos de distintos métodos de cosecha forestal; corta de retención variable, tala en fajas y tala rasa, sobre las subcategorías; a) biodiversidad, b) biomasa, c) ciclo de nutrientes, d) control de plagas, e) formación del suelo, f) productividad primaria. El gráfico en porcentajes representa el número de registros asociados a los impactos de la cosecha. El número de registros representado asciende a n=104 de los cuales n=25 corresponden al método de corta de retención variable, n=3 se encuentran asociados a la tala rasa en fajas y n=76 a la tala rasa. Los registros asociados a la corta de retención variable se componen de; biodiversidad n=12, productividad primaria n=2, biomasa n=2, regulación climática n=4, ciclo de nutrientes n=4 y formación del suelo n=1. Los registros asociados a la tala rasa en fajas se componen de; biodiversidad n=2 y regulación de inundaciones n=1, mientras que los registros de la tala rasa se componen de; Biodiversidad n=34, formación del suelo n=8, regulación climática n=9, biomasa n=3, productividad primaria n=2, regulación de inundaciones n=9, ciclo de nutrientes n=9 y purificación del agua n=2.

4.4 Efectos de la cosecha forestal sobre los servicios ecosistémicos

4.4.1 Subcategorías de servicios ecosistémicos

4.4.1.1 Tala rasa

Los artículos revisados reportan impactos de la tala rasa sobre 8 de las 18 categorías anteriormente descritas. La subcategoría biomasa cuenta con una gran cantidad de impactos neutros después de la cosecha con un 66,7% y solo 33,3% de impactos negativos. La productividad primaria cuenta con impactos tanto positivos como neutros (Fig. 12). Solo 3 subcategorías fueron afectadas positivamente por la tala rasa, las cuales corresponden a productividad primaria que en los artículos revisados en el 50% de ellos reportaron efectos negativos, mientras que el 50% restante reportó efectos positivos, la formación del suelo que presenta reportes positivos (16,7%), negativos (66,7%) y neutros (16,7%) y el ciclo de nutrientes que también reporta impactos positivos (25%), negativos (50%) y neutros (25%) en los artículos revisados. Las subcategorías con la mayor cantidad de reportes de efectos negativos son regulación del agua con un 77,8% de los artículos revisados y purificación del agua con el 100% de los artículos. Una de las subcategorías que tiene impactos negativos y neutros similares corresponde a Biodiversidad con un 47,1% y 41,2% respectivamente, además cuenta con un 11,8% de impactos positivos.

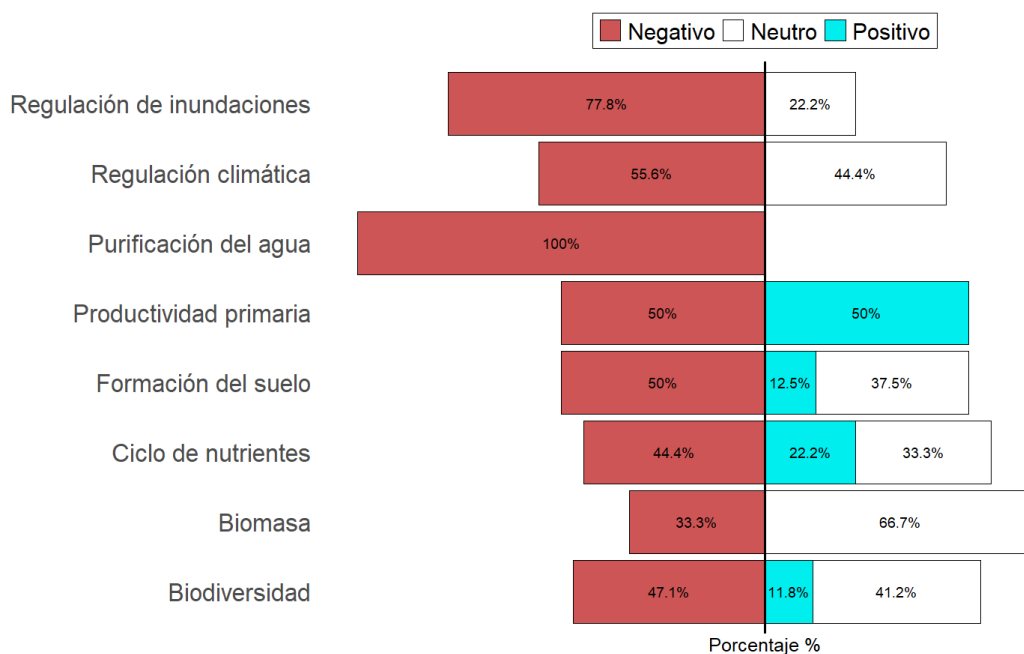


Fig. 12. Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método de

tala rasa y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=76 registros relacionados al método de tala rasa. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=16, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=4, formación del suelo n=4, productividad primaria n=1, purificación del agua n=2, regulación climática n=5 y regulación de inundaciones n=7. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos positivos; biodiversidad n=4, biomasa n=0, ciclo de nutrientes n=2, formación del suelo n=1, productividad primaria n=1, purificación del agua n=0, regulación climática n=0 y regulación de inundaciones n=0. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos neutros; biodiversidad n=14, biomasa n=2, ciclo de nutrientes n=3, formación del suelo n=3, productividad primaria n=0, purificación del agua n=0, regulación climática n=4 y regulación de inundaciones n=2.

4.4.1.2 Corta de retención variable

Los artículos revisados reportan impactos positivos, negativos y neutros de la corta de retención variable sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. La subcategoría “regulación climática” reporta un 75% de efectos positivos al utilizar este método y solo un 25% de efectos negativos (Fig 13). La subcategoría “ciclo de nutrientes” presenta reportes variados; un 25% efectos positivos y neutros, mientras que con un 50% reporta efectos positivos. La subcategoría “biodiversidad” solo presenta un 16,7% de reportes negativos, mientras que los reportes neutros alcanzan un 50%. Solo una subcategoría no reporta impactos tanto negativos como positivos y corresponde a la formación del suelo que presenta un 100% de impactos neutros.

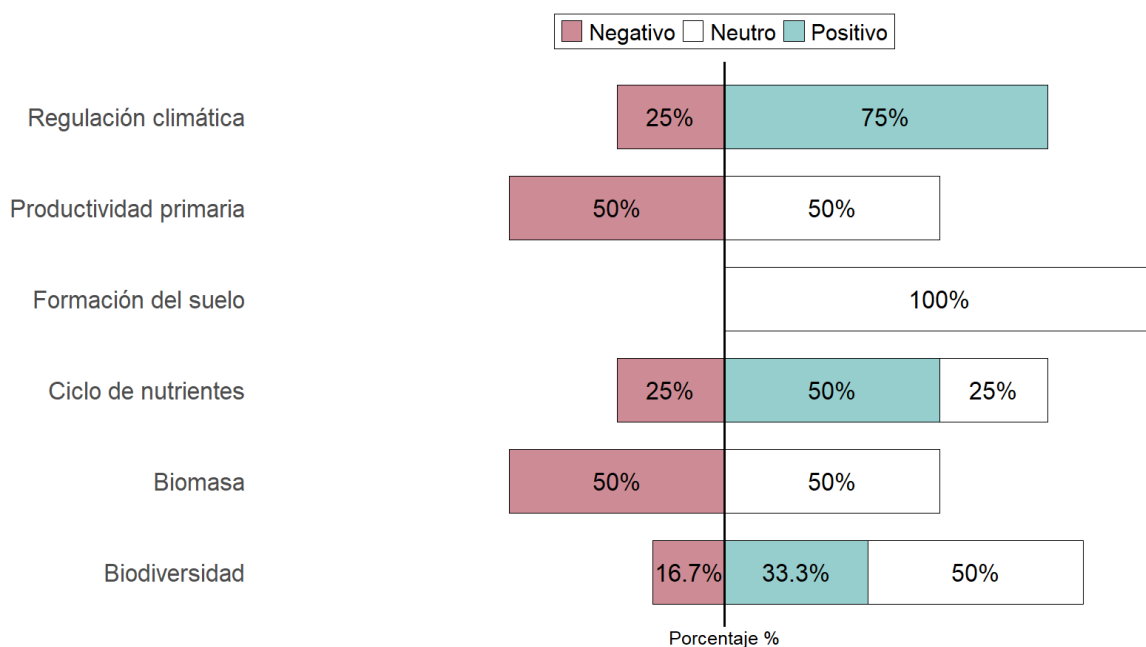


Fig. 13. Número de registros asociados a los impactos de la corta de retención variable sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método corta de retención variable y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=25 registros relacionados al método de corta de retención variable. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=2, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=1, formación del suelo n=0, productividad primaria n=1 y regulación climática n=1. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos positivos; biodiversidad n=4, biomasa n=0, ciclo de nutrientes n=2, formación del suelo n=0, productividad primaria n=0 y regulación climática n=3. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos neutros; biodiversidad n=6, biomasa n=1, ciclo de nutrientes n=1, formación del suelo n=0, productividad primaria n=1 y regulación climática n=0.

4.4.1.3 Tala rasa en fajas

Los artículos revisados reportan impactos negativos de la tala rasa en fajas sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos (Fig 14). El 100% de los registros asociados a las subcategorías regulación de inundaciones y biodiversidad reportan efectos negativos de este método sobre los servicios ecosistémicos.

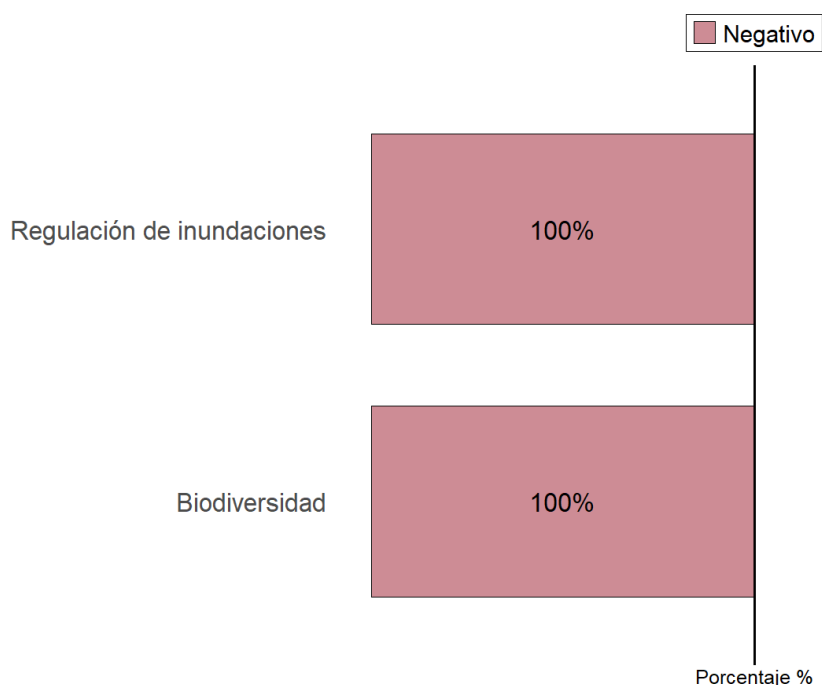


Fig. 14. Número de registros asociados a los impactos de la tala rasa en fajas sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos. El número de registros se obtuvo a partir de la revisión de los artículos asociados al método de tala rasa en fajas y que reportan impactos negativos, positivos y neutros del uso de este método sobre las subcategorías de los servicios ecosistémicos. La base final de literatura global como nacional compuesta de 55 artículos asociados a los Servicios ecosistémicos fue clasificada en subcategorías obteniendo un total de n=3 registros relacionados al método de tala rasa en fajas. El número de registros asociados a las subcategorías y que reportan impactos negativos; biodiversidad n=2 y regulación de inundaciones n=3.

Discusión.

La investigación a nivel global asociada a distintos métodos de cosecha en plantaciones forestales presenta una cantidad importante de publicaciones en comparación con la literatura científica a nivel nacional. De acuerdo con la revisión, el número de artículos a nivel global alcanza los 82, mientras que a nivel nacional solo 4 artículos desarrollan investigación en plantaciones forestales considerando algún método de cosecha forestal. Las razones por las cuales la investigación científica a nivel nacional cuenta con una menor cantidad de publicaciones pueden relacionarse con lo expresado por Donoso & Promis (2013), quienes, si bien describen los problemas de la silvicultura del bosque nativo —como la “a) falta de una política forestal para el manejo sustentable, b) criterios de corto plazo orientados a maximizar utilidades en una primera intervención, c) sistema inadecuado asociado a la formulación, ejecución y control de los planes de manejo, y d) los escasos fondos concursables para postular a proyectos en silvicultura” — estos son algunos de los problemas que se presentan al momento de postular a proyectos concursables relacionados con la restauración del bosque nativo. En esta misma línea, Salas et al. (2016) expresan que se debe avanzar hacia una gestión forestal sostenible para plantaciones forestales, lo que a largo plazo podría aumentar el financiamiento en investigación asociada al bosque. Relacionando la revisión con lo expresado por Salas et al. (2016) y Donoso & Promis (2013), contar con una mayor cantidad de investigación científica puede ayudar a avanzar en materia legislativa y en generar evidencia de que, en procesos de conversión de bosques, un método de cosecha puede ser más beneficioso que otro.

La revisión de literatura gris estuvo asociada principalmente a trabajos de tesis de pregrado que, al no contar con revisión por pares, deben interpretarse con cautela.

El análisis de impactos sobre las categorías mostró una tendencia de investigación asociada a los servicios de regulación. Al hacer un zoom en las subcategorías de servicios ecosistémicos, se observa una gran cantidad de registros vinculados a regulación del clima, regulación de inundaciones, biodiversidad y purificación del agua, todos ellos pertenecientes a los servicios de regulación. De acuerdo con la revisión, el servicio de biodiversidad es uno de los más investigados en la literatura, lo que podría explicarse por las variables medidas y los métodos de captura de datos. Algunos estudios revisados incluyen: Zettler et al. (2004), quienes realizaron mediciones de riqueza y abundancia de hormigas en zonas de tala rasa mediante trampas de caída; Butterfield (1999), quien

midió abundancia de colémbolos en zonas de tala rasa; y Uaeda et al. (2022), quienes midieron abundancia de escarabajos también mediante trampas de caída. Los costos de aplicar este tipo de mediciones pueden ser menores en comparación con un análisis de suelo, que en Chile puede llegar aproximadamente a \$56.000 (i.e., UACH, www.uach.cl). Otro servicio ecosistémico con una gran cantidad de registros corresponde a la regulación climática, cuyos estudios pueden ser más costosos debido a los requerimientos de monitoreo. Por ejemplo, Gao et al. (2015) desarrollaron mediciones de temperatura, CO₂ y velocidad del viento en zonas de tala rasa; Arango & Arain (2025) midieron variables climáticas como temperatura y humedad en zonas de corta de retención variable. Estos son algunos de los estudios revisados que midieron variables tanto climáticas como de biodiversidad, lo que puede explicar por qué existen más estudios sobre ciertos servicios ecosistémicos, considerando los costos asociados a medirlos.

La revisión de los efectos de tres métodos de cosecha mostró que la tala rasa presenta la mayor cantidad de impactos, lo que se relaciona con la mayor cantidad de investigación asociada a este método (n = 76 registros), en comparación con la tala rasa en fajas (n = 3 registros) y la corta de retención variable (n = 25 registros). Entre los registros positivos sobre las subcategorías de servicios ecosistémicos se encuentran los estudios de Butterfield (1999), asociado a la formación del suelo, quien encontró una mayor descomposición de materia orgánica en zonas de tala rasa; Pridacha et al. (2021), relacionado con la productividad primaria, quienes encontraron que la tasa de conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración fue mayor en plántulas plantadas luego de la tala rasa; Lapointe et al. (2006), relacionado con el ciclo de nutrientes, quienes reportaron altas concentraciones de nitrógeno en las acículas de individuos plantados después de la tala rasa; y Kataja-Aho et al. (2016), quienes, en un estudio sobre biodiversidad, encontraron que la abundancia y riqueza de escarabajos en sitios de tala rasa era alta. Estos son algunos de los estudios relacionados con los impactos de la tala rasa sobre los servicios ecosistémicos.

La corta de retención variable puede ser una alternativa de cosecha forestal, considerando que presenta una menor cantidad de impactos negativos en comparación con la tala rasa; sin embargo, siempre debe tenerse presente que la cantidad de publicaciones asociadas a este método es menor.

Conclusiones

- De acuerdo con la revisión las plantaciones forestales son manejadas intensivamente tanto a nivel nacional como mundial mediante el método de tala rasa, que cuenta con la mayor cantidad de investigación en literatura asociada a este método. Si bien, es el método de cosecha más utilizado por una cuestión de costos y aprovechamiento de la masa forestal, no se puede desconocer que en la literatura también se realiza investigación y se cosecha con otros métodos como son la corta selectiva, corta de retención variable, corta de protección y tala rasa en fajas, aunque en menor medida.
- La investigación de literatura científica como gris en plantaciones forestales se encuentra asociada principalmente a los servicios ecosistémicos, lo que es una noticia positiva pensando en la necesidad de conocer cuales son los impactos reales de los métodos de cosecha sobre el medio ambiente en general y la búsqueda de métodos de cosecha que causen el menor impacto.
- La investigación científica de los impactos de la cosecha sobre los servicios ecosistémicos se asocia principalmente al servicio de biodiversidad, el cual puede estar asociado a la dificultad para medir variables de otros servicios ecosistémicos que pueden ser más costosas como lo expresado en la discusión.
- Los efectos de la tala rasa son mayores en comparación a otros métodos, pero se debe tener en cuenta que los métodos de corta de retención variable y tala rasa en fajas poseen un menor número de publicaciones asociadas por lo que este análisis puede ser apresurado, aunque permite tener una aproximación de los efectos de los métodos sobre los servicios ecosistémicos.

Referencias

- Adams, D. L., J. D. Hodges, D. L. Loftis, J. N. Long, R. S. Seymour, and J. A. Helms. 1994. Silviculture Terminology with Appendix of Draft Ecosystem Management Terms. Silviculture Instructors Subgroup of the Silviculture Working Group of the Society of American Foresters. <https://www.silvicultureinstructors.com/index.php/resources/silviculture-terminology>
- Armesto, J. J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., & Marquet, P. A. (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land use policy*, 27(2), 148-160. DOI:
- Arango Ruda, Elizabeth & Arain, M.. (2025). Evaluating Hysteresis Patterns in Sap Flow of a Red Pine Forest Subjected to Different Variable Retention Harvesting Treatments. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 130. 10.1029/2024JG008363.
- Avelar-Rodriguez, D., & Toro-Monjaraz, E. M. (2018). PubMed: Clinical Queries, Terminología MeSH y Operadores Booleanos. *Revista de Medicina Clínica*, 2(3), 96-100.
- Bannister, J. (Ed.), Ovalle, J. (Ed.), Vargas Gaete, R., et al (2024). Restauración de ecosistemas forestales. Editorial Universitaria. 24p cita de solo el capítulo
- Barros Asenjo, S.. (2018-12). Evolución de las plantaciones forestales en Chile. Forestación y reforestación. *Ciencia e Investigación Forestal*, CIFOR, v.24:n3. páginas 89-115.
- Butterfield, J. (1999). Changes in decomposition rates and Collembola densities during the forestry cycle in conifer plantations. *Journal of Applied Ecology*, 36(1), 92-100. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1999.00382.x>
- CONAF. (2024). *Catastro de los Recursos Vegetacionales de Chile* (p. 70). <https://sit.conaf.cl/>
- Convention on Biological Diversity (1992) United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya. 30 pp.
- Corredor-Camargo, Emma & Fonseca-Carreño, Jorge & Paez, Edwin. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 3. 77. 10.22490/21456453.936.
- Cubbage, F., Harou, P., & Sills, E. (2007). Policy instruments to enhance multi-functional forest management. *Forest Policy and Economics*, 9(7), 833-851.
- Donoso, Pablo & Promis, Alvaro. (2013). Silvicultura en Bosques Nativos. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelanda.
- Donoso, P., & Navarro, C. (2022). *Silvicultura y Manejo de Bosques Nativos: Ecología Aplicada para la Conservación de Ecosistemas Forestales*. Editorial Universitaria.
- Donoso Zegers, C. (Ed.) (2006). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología. 1a. edición. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo, ediciones.

Donoso Zegers, C. (Ed.) (2006). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología. 1a. edición. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo, ediciones.

Donoso, Pablo & Promis, Alvaro. (2013). Silvicultura en Bosques Nativos. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelandia.

Droppelmann Felmer, F., Grosse Werner, H., & Laroze Bareyre, A. (2019). Contribución de los bosques nativos y plantados a la mitigación de los impactos del cambio climático en Chile en un contexto de desarrollo sustentable. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(2), 7–36. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.513>

Elizalde, R. (1970). *La sobrevivencia de Chile: La conservación de sus recursos naturales renovables (2a. Edición)* (Segunda Edición). Ministerio de Agricultura.

FAO. (1996). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (Estudio FAO Montes, Vol. 131).

Farris, M. (2021). ¿Aprovechamiento sostenible versus extractivismo? modelos de desarrollo forestal en Chile y España. Reflexión teórica y propuesta metodológica. *Investigaciones Geográficas: Una Mirada Desde El Sur*, (61), 16–25. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.63996>

Franco-Pérez, Á. M. (2023). Google Académico: El buscador especializado para la ayuda a la investigación. *Hospital a Domicilio*, 7(1), 35-47.

Gayoso, J., Guerra, J., & Schlegel, B. (2000). Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal.

Gao, Shenghua & Chen, Jiquan & Tang, Yuxi & Xie, Jing & Zhang, Rui & Tang, Jie & Zhang, Xudong. (2015). Ecosystem carbon (CO₂ and CH₄) fluxes of a *Populus deltoides* plantation in subtropical China during and post clear-cutting. *Forest Ecology and Management*. 357. 206-219. 10.1016/j.foreco.2015.08.026.

Hanewinkel, M. (2002). Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: A critical analysis of different methods. *Forestry*, 75, 473-481.

Harling, L. (2025, marzo 24). Boolean searches in Scopus: Understanding operator precedence and best practices. *Elsevier Scopus Blog*. <https://blog.scopus.com/boolean-searches-in-scopus-understanding-operator-precedence-best-practices/>

Instituto Forestal (Chile) (2009). Silvicultura del bosque nativo chileno. Función histórica y opciones futuras sobre la base de manejo sustentable. 1a. edición. Santiago, Chile: INFOR.

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico 5 del ipcc. Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.

Kataja-aho, Saana & Hannonen, Paloma & Liukkonen, Titta & Rosten, Hertta & Koivula, Matti & Koponen, Seppo & Haimi, Jari. (2016). The arthropod community of boreal Norway spruce forests responds variably to stump harvesting. *Forest Ecology and Management*. 371. 10.1016/j.foreco.2016.01.025.

Krauze, K. & Wagner, I. 2007. An ecohydrological approach for the protection and enhancement of ecosystem services. In: Petrosillo et al. (eds.). Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security. NATO Science for Peace and

Kremer, K. N., & Bauhus, J. (2024). Restoring native forests from *Pinus radiata* plantations: Natural regeneration of native tree species in response to different harvesting treatments in central Chile. *Restoration Ecology*, 33(1), 14.

La Literatura Gris. (2011). *Formación universitaria*, 4(6), 1-2.

Lapointe, B., Bradley, R.L., Parsons, W.F., & Brais, S. (2006). Nutrient and light availability to white spruce seedlings in partial and clearcut harvested aspen stands. *Silva Fennica*, 40.

Martínez Pastur, G. J., Vanha-Majamaa, I., & Franklin, J. F. (2020). Ecological perspectives on variable retention forestry. *Ecological Processes*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0215-3>

Meneses, M., & Guzmán, S. (2000). Productividad y eficiencia en la producción forestal basada en las plantaciones de pino radiata. *Bosque*, 21(2), 3-11.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Monje-Hernández, Yerko, Riesco Salinas, Matías, Hora, Benedikt, & Marchan Santiago, Carla. (2024). Las trayectorias en la construcción del “bosque”. Transformaciones, discursos y efectos espaciales de la legislación forestal chilena entre 1872-1974. *Revista de historia (Concepción)*, 31, 16. Epub 24 de abril de 2024. <https://dx.doi.org/10.29393/rh31-16tcym10016>

Odum E (1986) Fundamentos de Ecología. Nueva Editorial. México. 472 pp.

Prado D., J. A. (2015). *Plantaciones Forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G.

Pridacha, V.B., Sazonova, T.A., Novichonok, E.V. et al. Clear-cutting impacts nutrient, carbon and water exchange parameters in woody plants in an east Fennoscandian pine forest. *Plant Soil* 466, 317–336 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05058-w>

Rubilar, R., Fox, T., Alle, L., Albaugh, T., & Carlson, C. (2008). Manejo Intensivo al establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus* sp. Y *Eucalyptus* sp. En Chile y Argentina. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 40, 1-7.

Sadanandan Nambiar, E. K. (1999). Productividad y sustentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque*, 20(1), 9-21.

Secretaría de la CIPF. 2022. Guía de condición de plagas: Comprensión de los principales requisitos para la determinación de la condición de una plaga. Roma, FAO en nombre de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Salas, C., Donoso, P. J., Vargas, R., Arriagada, C. A., Pedraza, R., & Soto, D. P. (2016). The Forest Sector in Chile: An Overview and Current Challenges. *Journal of Forestry*, 114(5), 562-571.

Toro, J., & Gessel, S. (1999). Radiata pine plantations in Chile. *New Forests*, 18(1), 33-44.

Toy-Opazo, O., Fuentes-Ramirez, A., Palma-Soto, V., Garcia, R. A., Moloney, K. A., Demarco, R., & Fuentes-Castillo, A. (2024). Flammability features of native and non-native woody species from the southernmost ecosystems: A review. *Fire Ecology*, 20(1), 21.

Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511.

Ueda, A., Itô, H. & Sato, S. Effects of dispersed and aggregated retention-cuttings and differently sized clear-cuttings in conifer plantations on necrophagous silphid and dung beetle assemblages. *J Insect Conserv* 26, 283–298 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00386-3>

Vargas-Gaete, R., Muñoz, B., & Penneckamp, D. (2024). Degradación de ecosistemas forestales, definiciones y conceptos aplicados a los bosques de Chile. En *Restauración de ecosistemas forestales* (Vol. 1, pp. 26-55). Editorial Universitaria.

Zettler, J. A., Taylor, M. D., Allen, C. R., & Spira, T. P. (2004). Consequences of Forest Clear-Cuts for Native and Nonindigenous Ants (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 97(3), 513-518. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2004\)097%255B0513:COFCFN%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2004)097%255B0513:COFCFN%255D2.0.CO;2)

ANEXO INFORME 2

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y MEDIOAMBIENTE

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA



Propuesta de conversión de una plantación de pino oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) a bosque nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, basada en una revisión bibliográfica sistemática

Germán Alexander Nahuelan Navarrete

Profesor: Rodrigo Ignacio Vargas Gaete

TEMUCO – CHILE

Diciembre, 2025

Índice

1.	Introducción	85
2.	Marco teórico	86
	2.1 Revisión bibliográfica métodos de cosecha en plantaciones forestales	86
	2.2 Fuente de propágulo	87
	2.3 Regeneración avanzada	88
3.	Metodología	89
	3.1 Área de estudio	89
	3.1.1 Autoecología de la especie	91
	3.2 Procesamiento archivo LIDAR	91
	3.3 Parcelas de muestreo	92
	3.4 Tratamientos	93
4.	Resultados	94
	4.1 Procesamiento de la nube de puntos del archivo LIDAR	94
	4.1.1 Densidad de árboles en el rodal	95
	4.1.2 Pendiente	96
	4.2 Propuesta de parcelas de muestreo forestal	97
	4.3 Tratamientos	99
	4.3.1 Raleo	99
	4.3.2 Raleo de conversión	99
	4.3.3 Tala rasa	100
	4.4 Reducción de copa del 20%	101
5.	Discusión	102
6.	Conclusión	103
7.	Referencias	104
8.	Anexos	107

1. Introducción

A nivel mundial se estima que la superficie de bosque para el año 2020 alcanzaba los 4.100 millones de ha, en tanto la tasa de deforestación ha ido a la baja pasando de 15,8 millones de pérdida de bosque en el periodo 1990-2000 a 10,2 millones de ha en el periodo 2015-2020 (FAO, 2024). La innovación tecnológica es un tema central en los objetivos de la agenda 2030 y se convierte en un medio para contribuir a detener la deforestación y mantener los bosques, facilitando el cumplimiento de los Acuerdos de París (CEPAL, 2017). Existen distintas iniciativas que utilizan un enfoque de innovación tecnológica en el uso de tecnologías geoespaciales, teledetección y la elaboración de políticas nacionales que apoyen la restauración (FAO, 2024)

En el año 2015 Chile se suscribió al Acuerdo de París y se comprometió con distintas acciones climáticas conocidas como Contribución Nacional Determinada (NDC). Entre las acciones se encuentra la creación de 200.000 nuevas hectáreas de bosque nativo y manejarlas sustentablemente, además de reducir en un 25% la degradación y deforestación del bosque nativo (Herrera & Soler, 2023). Para dar cumplimiento a la NDC, en el año 2021 se lanzó el Plan Nacional de Restauración a escala de Paisajes 2021-2030, además se cuenta con la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 que tiene objetivos relacionados con la restauración y conservación (BIONOSTRA, 2025). En cuanto a las iniciativas de restauración a gran escala; existe un proyecto de restauración en la Reserva Costera Valdiviana impulsada por la Fundación Metlife y The Nature Conservancy que busca reemplazar plantaciones forestales por bosque nativo. La iniciativa +Bosques, ejecutado por CONAF y FAO la cual busca restaurar bosques nativos entre las regiones del Maule y Los Lagos (FAO, 2025) y el proyecto GEF Humedales costeros, ejecutado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) con apoyo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) Medio ambiente, se centró en la restauración de humedales costeros de la región de Coquimbo (BIONOSTRA, 2025).

En cuanto a investigación científica, a nivel nacional destacan estudios de Kremer et al. 2021, en el cual se investigó el efecto de distintos métodos de cosecha sobre la regeneración natural de especies arbóreas nativas en plantaciones forestales de pino monterrey (*Pinus radiata* D. Don). En esa misma línea Kremer y Bauhus, 2024 desarrollaron un estudio con el objetivo de evaluar la respuesta de la regeneración de especies nativas con distintos grados de retención de la cobertura

en plantaciones de *P. radiata*. Estos son algunos de los estudios que relacionan la restauración con el uso de métodos de cosecha en plantaciones forestales, lo que da cuenta de la baja cantidad de investigación asociada a temas como la conversión de plantaciones a bosque nativo (Nahuelan, 2025). Además de la baja producción de investigación científica en Chile (Smith-Ramírez et al. 2015), a nivel nacional existe un problema de financiamiento ya que muchas de las iniciativas a pequeña escala carecen de financiamiento a largo plazo y los incentivos económicos que existen son poco atractivos para los propietarios (BIONOSTRA, 2025)

Tomando en cuenta lo anterior surge esta propuesta de conversión, que busca utilizar herramientas innovadoras como el uso de métodos de cosecha forestal con fines de restauración y el uso de nuevas tecnologías relacionadas a la teledetección para realizar distintos análisis de los rodales a convertir como es la tecnología LIDAR. Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar una estrategia de conversión de una plantación de pino oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) a bosque nativo en la Reserva Nacional Malalcahuello, basada en evidencia científica.

2. Marco teórico

2.1 Revisión bibliográfica métodos de cosecha en plantaciones forestales

Según la revisión realizada por Nahuelan (2025) sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales, el método de cosecha que cuenta con la mayor cantidad de investigación científica asociada, tanto a nivel global como en Chile, corresponde a tala rasa, la cual se utiliza con el objetivo de abaratar los costos de la cosecha en grandes extensiones de terreno, además de la tala rasa, destacan métodos como la corta selectiva y métodos que buscan reducir los impactos sobre los servicios ecosistémicos como son la corta de protección y la corta de retención variable. Los métodos antes mencionados generan distintos impactos sobre los servicios ecosistémicos, se encuentra documentado que la tala rasa produce impactos principalmente sobre los servicios de regulación como son la regulación climática, regulación de inundaciones y la biodiversidad, en tanto en los servicios de soporte se ven afectados los servicios ciclo de nutrientes y formación del suelo. En cuanto a los efectos de este método la literatura reporta impactos negativos, positivos y neutros. Entre los impactos negativos de este método destaca la regulación climática, regulación de

inundaciones y biodiversidad, aunque también se reportan impactos neutros y en algunos casos impactos positivos de este método (Nahuelan, 2025).

Otro de los métodos investigados en la literatura corresponde a la corta de retención variable. Los impactos de este método son principalmente sobre los servicios de regulación; regulación climática y biodiversidad, además del impacto sobre servicios de soporte entre los que se encuentran el ciclo de nutrientes y la biodiversidad. En cuanto a los efectos la literatura reporta efectos positivos, negativos y neutros de la cosecha sobre los servicios ecosistémicos. Principalmente efectos positivos y neutros de la cosecha sobre los servicios de regulación climática, ciclo de nutrientes y biodiversidad.

2.2 Fuente de propágulo

Los individuos de pino oregón inician la semillación entre los 15 y 18 años; las semillas se diseminan por el viento y la gravedad (Loewe et al. 1996). En cuanto a su alcance, la distancia de dispersión es variable y puede llegar hasta los 90 metros (Kannegeisser, 1989). En un estudio reciente, Burmeister (2017) señala que las semillas pueden alcanzar distancias de dispersión de entre 4 y 110 metros desde la fuente de propágulos. Además, enfatiza que el pino oregón, al ser más alto que las especies de hayas de montaña, presenta una ventaja en la propagación de las semillas y en la posterior invasión de nuevas áreas. Otros autores, como Lange et al. (2022), señalan que las plántulas de pino oregón se establecen a distancias que varían entre 85 y 120 m desde la fuente de propágulos, y que la regeneración tiene la capacidad de coexistir con plántulas de otras especies.

En cuanto a la densidad de individuos, esta tiende a disminuir a medida que aumenta la distancia a la fuente de propágulos (Burmeister, 2017; Fuentes-Ramírez et al. 2024). Axer et al. (2025) reportan que, en los primeros 50 m desde los árboles semilleros, la densidad de regeneración es mayor que a distancias superiores, mientras que la dispersión de las semillas puede alcanzar hasta los 300 m desde la fuente de propágulos más cercana. Otros autores señalan que la densidad de plántulas es mayor en los primeros 20 m desde la fuente de propágulos y que la regeneración disminuye a medida que aumenta la distancia a los árboles semilleros (Fuentes-Ramírez et al. 2024; Núñez & Paritsis, 2017).

2.3 Regeneración avanzada

Burmeister (2017) encontró presencia de individuos de pino oregón al interior de los bosques de haya de montaña, por lo que la especie es capaz de establecerse en condición de sombra–semisombra. Es una especie que requiere un alto contenido de humedad del aire y del suelo, además de ser intolerante a la competencia de raíces (Loewe et al. 1996). *P. menziesii* tiene la capacidad de establecerse en zonas con aperturas de dosel, siempre que la radiación solar no sea directa, lo que permite la supervivencia de los individuos (Gray & Spies, 1996). En ocasiones, el pino es capaz de invadir zonas de dosel cerrado debido a la gran cantidad de propágulos que proporcionan los árboles semilleros (Von Holle & Simberloff, 2005). Fuentes-Ramírez et al. (2024) señalan la presencia de individuos juveniles de pino oregón al interior de bosque nativo, mientras que, en áreas abiertas con mayor radiación solar, los individuos de pino oregón tienden a disminuir. Esto se debe principalmente a que la regeneración de pino oregón tiene pocas posibilidades con un 20 % de luminosidad, pero se han obtenido buenos resultados con un 50 % a 70 % (Loewe et al., 1996).

Considerando el crecimiento de la especie en condiciones de semisombra, diversos autores recomiendan realizar tala rasa en fajas para evitar la creación de un microclima severo para la regeneración (Kannegiesser, 1989), en tanto que la tala rasa genera malos resultados asociados a la regeneración, ya que produce altas temperaturas en los suelos deforestados (Loewe et al., 1996). La aplicación de tala rasa en exposiciones favorables, especialmente sur, beneficiaría el establecimiento mediante este método (Kannegiesser, 1989). Wienstroer et al. (2003) señalan que el pino oregón no mostró diferencias de crecimiento en exposiciones sur y norte, pero destacan la condición de semisombra señalada por otros autores: el pino oregón presentó una curva de crecimiento ascendente cuando los individuos son dominados por otros y, en la condición de claro con luz lateral, tiene más posibilidades que en campo abierto. El crecimiento en altura de la regeneración tiende a disminuir con un número creciente de individuos maduros cercanos, pero esto cambia cuando la distancia aumenta, registrándose un mayor crecimiento cuando la regeneración se encuentra alejada de individuos maduros con alturas heterogéneas (Toraño-Caicoya, 2025).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

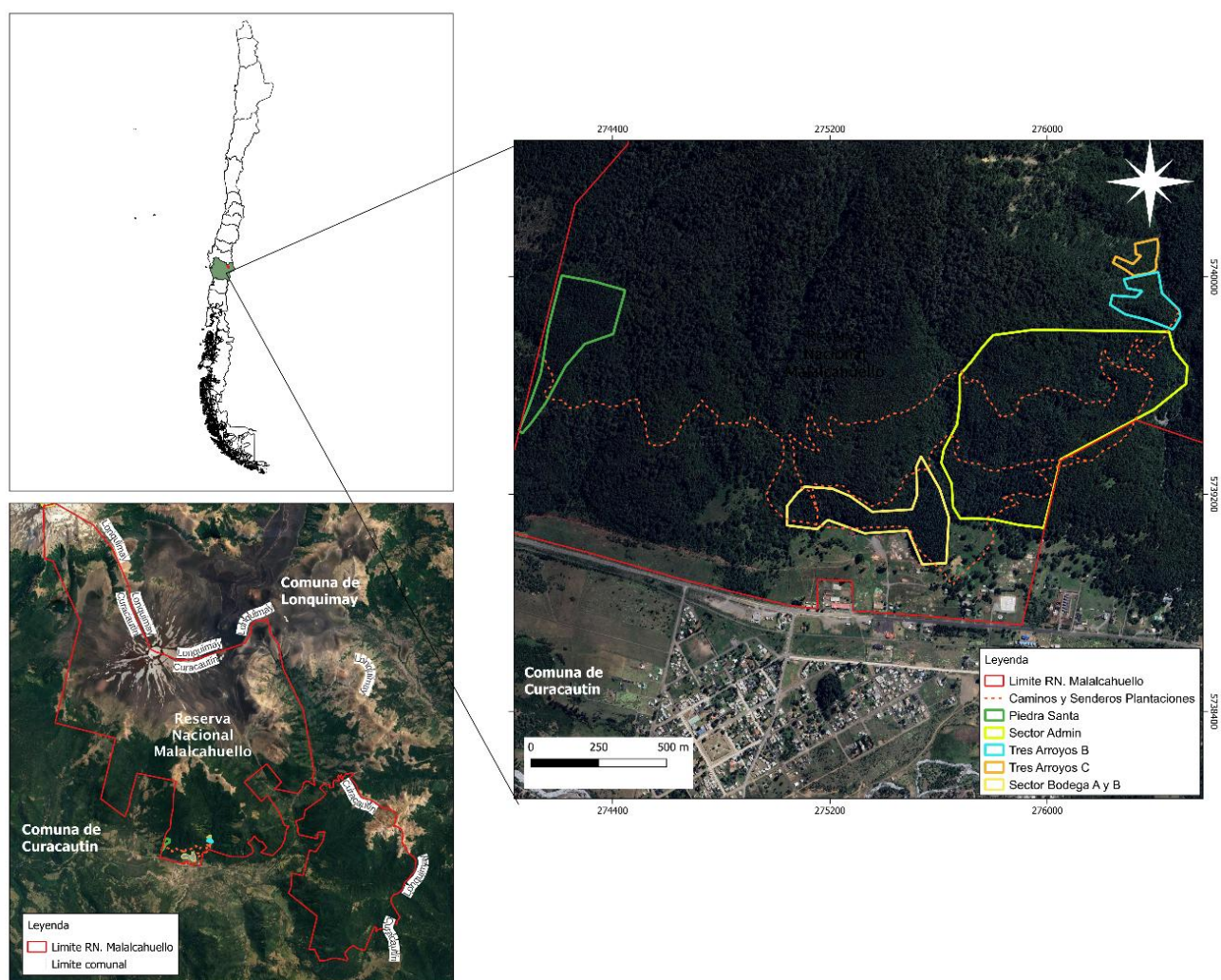


Fig. 1. Ubicación de la Reserva Nacional Malacahuello

La Reserva Nacional Malalcahuello que se traduce del mapudungun como “Corral de Caballos” formaba parte de los territorios bajo control Mapuche-Pewenche (Bengoa, 1999) se encuentra ubicada en la cordillera de los andes de la Región de La Araucanía, en la comuna de Curacautín, provincia de Malleco (71° 28´ y 71° 35´ O, 38° 23´ y 38° 23´ y 38° 30´ S) (CONAF, 2025; Bravo-Vargas et al. 2019). El clima es mediterráneo - húmedo, con una temperatura media anual de 8,5 °C. Hay nieve en las zonas más altas durante el invierno y escasas precipitaciones durante los meses de verano, enero y febrero. Las precipitaciones anuales varían de 2.000 a 3.000 mm (Cóbar-Carranza et al. 2014; Blume et al. 2009). La topografía en la reserva es accidentada, con elevaciones que fluctúan entre los 500 m.s.n.m. (en el sector de la administración de la Reserva) y los 2.806 m.s.n.m. (en el Volcán Lonquimay), donde destaca la presencia del Volcán Lonquimay en el cual se encuentra la formación de montañas denominada Sierra de los Colorados y Los Cerros de Huamachuco (CONAF, 1996).

La reserva contiene muestras representativas de los bosques altoandinos de *Araucaria* (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, 1869), y del bosque mixto caducifolio de *Nothofagus* (CONAF, 1996). El bosque de tipo *Araucaria* se encuentra con Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser, 1896) y Coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst, 1871) en elevaciones altas, y Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, 1871) - Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst) - Coihue (*N.dombeyi*) en elevaciones más bajas (Blume et al. 2009). Los suelos de la Reserva Nacional Malalcahuello se clasifican como grises pardos podzólicos, aunque en algunas partes presentan una capa de escoria volcánica de la cual ha derivado un suelo más delgado y de calidad inferior, que en las cumbres forman grandes arenales sin vegetación (CONAF, 1996).

El rodal que se va a intervenir corresponde a la unidad “Sector bodega A y B”, cuenta con una superficie de 8,7 ha. En 1965 se plantaron individuos de pino oregon y pino real americano (*Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws)), además se establecieron plantaciones de Cipres de Lawson (*Chamaecyparis lawsoniano* (A. Murray) Parl) y Pino oregon que fueron establecidas entre los años 1965 a 1971.

3.1.1 Autoecología de la especie

El pino oregón es una especie monoica que naturalmente se distribuye en América del Norte (Quiroz & Rojas, 2003). Es un árbol que puede alcanzar alturas de 50 a 60 metros y, en ocasiones, 90 metros (Kannegiesser, 1988); puede alcanzar diámetros de 2 a 5 metros a la altura del pecho y edades de 800 a 1000 años (Burmeister, 2017; Loewe et al. 1996). Los individuos comienzan su producción de semillas alrededor de los 12 a 15 años, mientras que la maduración inicia a mediados o fines de verano (Loewe et al., 1996; Quiroz & Rojas, 2003). Las semillas se caracterizan por ser pequeñas y aladas; se dispersan por el viento y crecen rápidamente cuando las condiciones de luz y humedad son adecuadas (Kannegiesser, 1989). Es una especie que crece en distintos tipos de suelos, principalmente en suelos podzólicos pardos, pardos, pardos lateríticos y pardos forestales (Quiroz & Rojas, 2003). Requiere un alto contenido de humedad del aire y del suelo, cuenta con una tolerancia media a la sombra y es muy intolerante a la competencia de raíces (Loewe et al. 1996).

3.2 Procesamiento archivo LIDAR

Se realizó un vuelo de dron modelo DJI Matrice 350 RTK en el rodal denominado Sector Bodega A y B al interior de la Reserva Nacional Malalcahuello, durante el mes de septiembre del año 2025. El vuelo generó un archivo de tipo LIDAR Light Detection and Ranging. LIDAR es un método de teledetección que utiliza luz en forma de láser que envía pulsos con el fin de medir distancias variables a la Tierra que, sumado a otros datos registrados en sistemas aéreos, generan información tridimensional precisa sobre la forma de la Tierra y las características de su superficie (NOAA, 2024). El procesamiento de la nube de puntos LIDAR fue realizado en Rstudio versión 4.5.0 utilizando las librerías `lidR`, `terra`, `sf` y `dplyr`. A partir del procesamiento del archivo se obtuvo un DTM, que representa la elevación del terreno del rodal (Wasser, 2024) y DSM, el cual representa la elevación de las superficies más altas en el rodal incluyendo elementos presentes como infraestructura, vegetación entre otros (Wasser, 2024) luego se realizó la resta de ambos (DSM-DTM) para obtener un CHM, el cual representa la diferencia entre un DSM y un DTM y permite obtener las alturas de los elementos que existen en el DSM, por ejemplo; la altura de edificios y vegetación (Wasser, 2024). Finalmente, una vez generado el CHM, este fue procesado y se obtuvo un archivo de tipo shapefile que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geométricas, las cuales pueden ser representadas por medio de puntos, líneas o polígonos (Esri,

2021), en este caso el archivo shapefile generado corresponde a geometría de puntos que contiene la información de la altura y las coordenadas (x, y) de los árboles presentes en el rodal.

Con los pasos anteriores completados se realizó el cálculo de la densidad de árboles para el rodal de estudio se realizó mediante la herramienta Heatmap disponible en Qgis versión 3.34.8, el cual corresponde a una técnica de interpolación útil para determinar la densidad de las entidades de entrada (Ghandi, 2024). La elaboración de estos mapas es una buena herramienta para tener una aproximación de cómo se agrupan los puntos (Morales, 2018; QGIS, 2024). Esta herramienta solicita definir un radio para cada punto con el fin de generar focos de densidad. Se asignó un radio de 15m, el cual permite tomar en cuenta valores altos como bajos (Sylveman, 1986). Para obtener el heatmap se utilizó el shapefile con geometría de puntos generado en el paso anterior y con ello se obtuvo la densidad de árboles para el rodal “Sector Bodega A y B”.

Con el procesamiento del archivo líder se obtuvo las curvas de nivel de 50 m El mapa de pendiente fue elaborado mediante curvas de nivel de 50 cm, obtenidas a partir del vuelo drone modelo DJI Matrice 350 RTK realizado en el mes de septiembre del año 2025. Se asignaron 4 categorías de pendiente; 0-30%, 31-45%, 46-60% y $\geq 60\%$. La asignación de las categorías de pendiente en porcentaje se obtuvo de los rangos que solicita CONAF en sus planes de manejo de plantaciones y planes de manejo de preservación (CONAF, 2021).

3.3 Parcelas de muestreo

Con el objetivo de definir las parcelas de muestreo en el rodal de estudio se elaboró una cuadrícula con cuadros de 20x25 metros para el rodal mediante el uso de la herramienta de investigación de tipo vectorial denominada “cuadrícula”, la cual permite generar una cuadrícula con las dimensiones cubriendo una extensión dada, los elementos de la cuadrícula pueden ser puntos, líneas o polígonos y el tamaño y/o ubicación de cada elemento de la cuadrícula está definido usando espaciado vertical u horizontal (QGIS, 2024). Esta herramienta se encuentra disponible en el software QGIS versión 3.34.8. Una vez generada la cuadrícula se utilizó la herramienta “cortar” para obtener la cuadrícula a la medida del rodal “Sector Bodega A y B”. Luego se realizó el cálculo de la densidad de árboles para cada uno de los cuadros de 20x25 metros (500 m²) mediante la herramienta de análisis “contar puntos de polígono” la cual realiza un conteo de los puntos contenido en cada polígono de la capa objetivo (QGIS, 2024), que en este caso corresponde a la capa generada en el paso anterior

denominada “cuadrícula”. Ya con la densidad de puntos para cada cuadro se realizó una clasificación de la densidad en 5 clases de intervalos iguales.

Una vez ajustada la cuadrícula al tamaño del rodal se realizó el cálculo de la superficie de cada cuadro y solo se consideraron aquellos con superficies igual a 500 m² (véase Anexo 2). Una vez obtenidos, los cuadros de 500 m² potencialmente seleccionables y la densidad de árboles para cada uno de ellos, se realizó una selección aleatoria de 2 cuadros de 500 m² por cada una de las 5 categorías de densidades obtenidas en el paso anterior. Esto fue realizado mediante la creación de un campo en la tabla de atributos de la cuadrícula y la generación de valores aleatorios con un código en la calculadora de campos de QGIS. Luego los cuadros fueron seleccionados aleatoriamente mediante la herramienta “Selección por expresión”. En total se seleccionaron 10 cuadros.

Este procedimiento se realizó con el fin de seleccionar las parcelas de estructura forestal que se utilizaran para levantar información sobre la regeneración bajo dosel y posterior monitoreo según las categorías de densidad arbórea identificadas en los pasos anteriores al interior del rodal de estudio.

3.4 Tratamientos

A partir de la fotointerpretación del uso de suelo para el rodal de estudio, la revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha en plantaciones forestales (Nahuelan, 2025) y una revisión sobre la autoecología del pino oregon, se proponen 3 tratamientos de cosecha en el rodal “Sector Bodega A y B” que cuenta con una superficie de 8,7ha. Los tratamientos consisten en un raleo; en zonas con presencia de plantaciones y parches de bosque nativo (bosque mixto), tala rasa; en zonas con plantaciones puras de pino oregon y un raleo de conversión; en zonas con plantación de pino oregon que se encuentre distante a los rodales de bosque mixto.

Como se describió anteriormente, el pino oregon crece en condición de semisombra y presenta una alta densidad cerca de la fuente de propágulos, por lo que se propone implementar una tala rasa de 90 a 100 metros entre los rodales de bosque mixto y plantación pura de pino oregon con el fin de controlar la regeneración de pino cercana a la fuente de propágulos. En el sector donde se implementará el raleo de conversión se propone una apertura gradual del dosel cercana al 20% con el fin de evitar el crecimiento de la regeneración de pino oregon, se encuentra documentado que la regeneración de esta especie es exitosa con un 50 a 70% de luminosidad (Loewe et al. 1996). En los

sectores correspondiente a bosque mixto, se aplicará un raleo donde se cortarán todos los individuos de pino oregon, procurando no dañar la regeneración y arboles nativos presentes en el rodal.

4. Resultados

4.1 Procesamiento de la nube de puntos del archivo LIDAR

El procesamiento del archivo LIDAR generó un shapefile con geometría de puntos que muestra la distribución de árboles al interior del rodal de estudio. La capa shapefile contiene información en su tabla de atributos sobre la ubicación de cada árbol (punto) con sus coordenadas UTM (x, y), además de la altura total individual de cada árbol (punto). Se observa una mayor concentración de árboles en el sector sureste del rodal de estudio, mientras que en zonas altas la cantidad de árboles tiende a disminuir (Fig 2). Esta condición se repite en el sector oeste del rodal donde la densidad de puntos es notoriamente menor. En el centro del rodal se observa una disminución de la densidad de árboles.

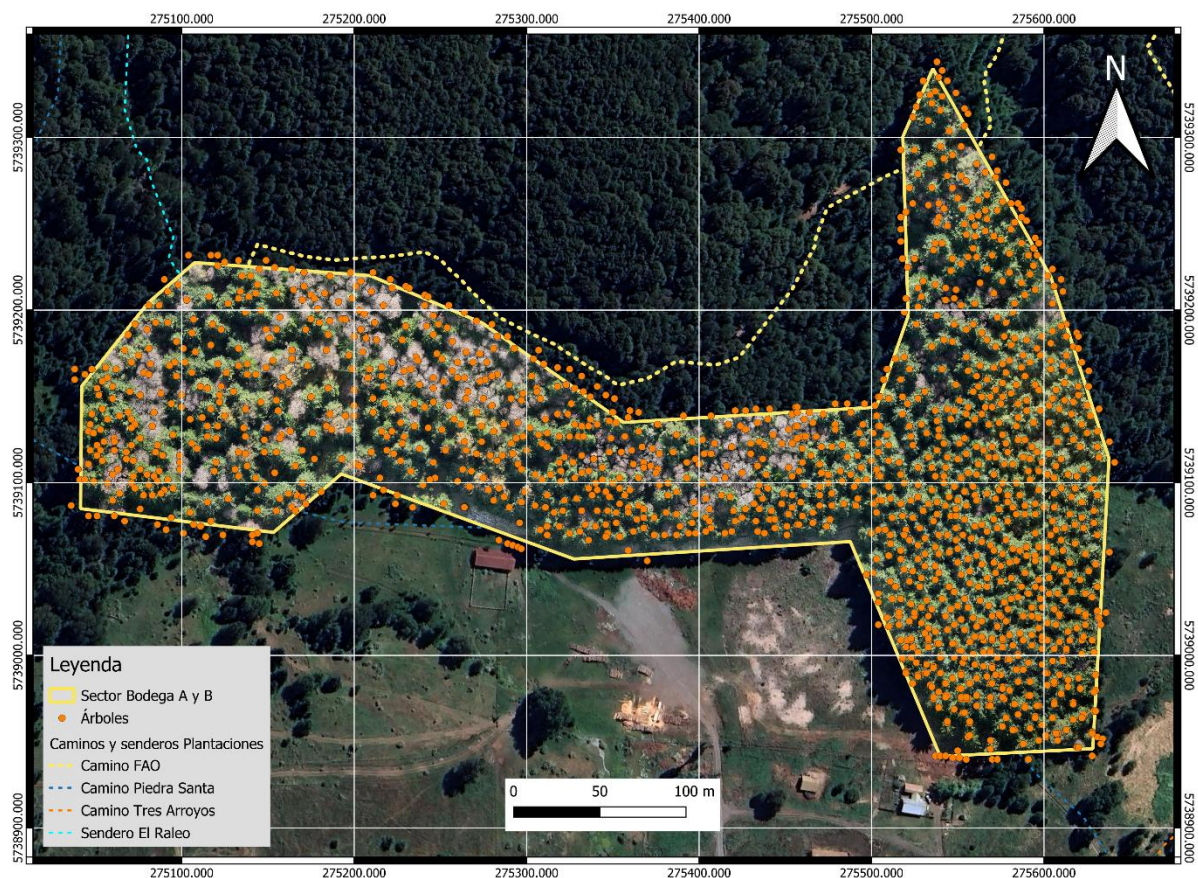


Fig. 2. Representación de los árboles que se encuentran en el rodal “Sector Bodega A y B”. La densidad de árboles se obtuvo después del procesamiento del archivo LIDAR que generó un DSM y DTM, luego estos se restaron y se obtuvo un CHM. Posteriormente a ello se obtuvo un shapefile con geometría de puntos que representa los árboles del rodal de estudio.

4.1.1 Densidad de árboles en el rodal

La densidad de árboles para el rodal de estudio va de 0 a 33,8 individuos, los cuales se encuentran agrupados en radios de 15 metros (Fig 3). Las zonas de color azul indican que la densidad de individuos agrupados es igual a 0, mientras que las zonas de color rojo son indicadoras de mayor cantidad de árboles agrupados en un radio conocido alcanzando valores de 33,8. En tanto las zonas de color amarillo una densidad media con 16,9 árboles en un radio conocido. El rodal de estudio se caracteriza por presentar densidades con agrupamientos de 8,4 árboles. Presenta 2 zonas con un

nivel importante de agrupamiento de árboles que van de los 25,3 a los 33,8 árboles en el rodal de estudio.

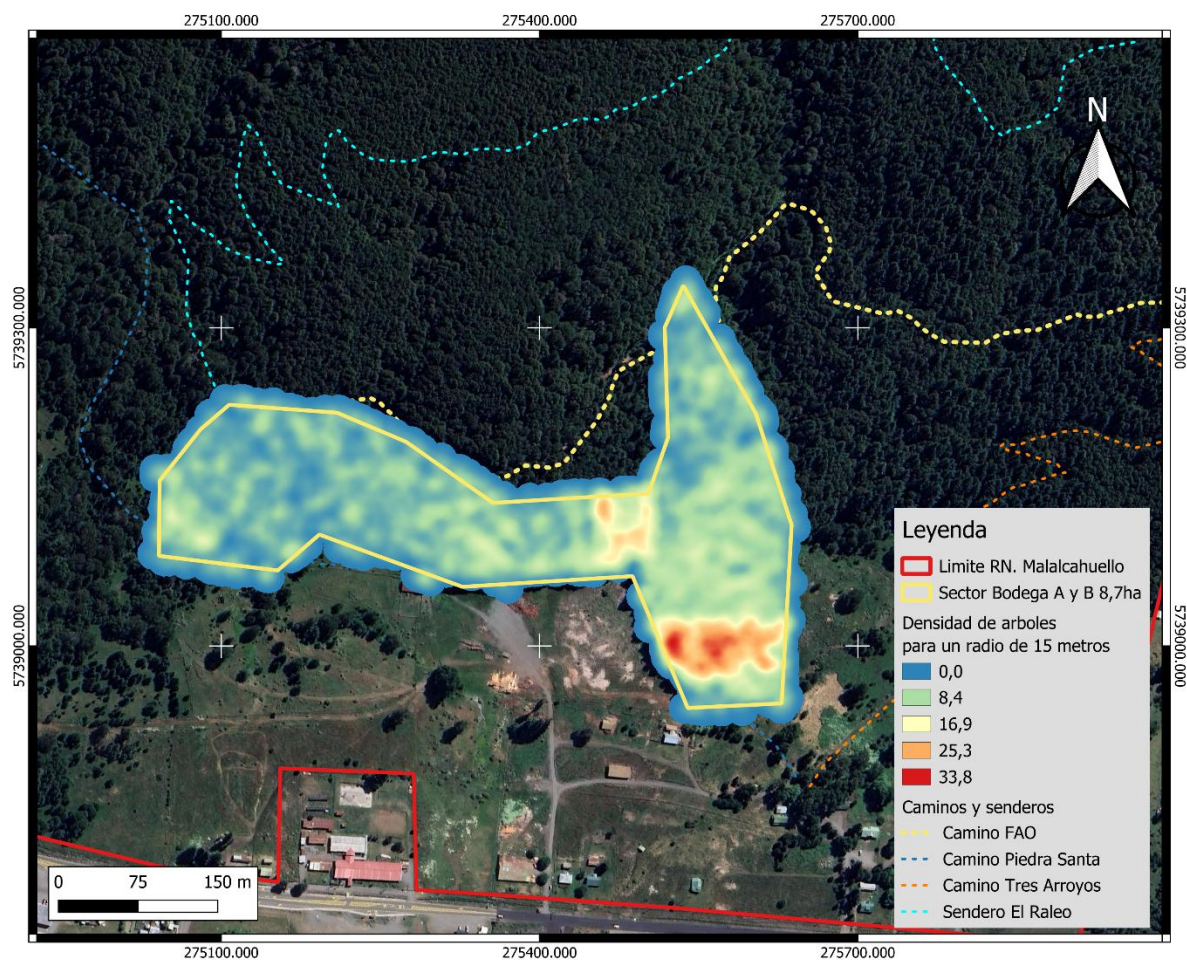


Fig. 3. Densidad de árboles para el rodal "Sector Bodega A y B". Luego del procesamiento del archivo LIDAR se elaboró un mapa de calor con el cual se obtuvo la densidad de árboles para todo el rodal. La densidad se obtuvo a partir de la designación de un radio de 15m de cada individuo y la posterior clasificación en 5 clases.

4.1.2 Pendiente

La pendiente en el interior del rodal de estudio es variable, cuenta con valores que van del 0% y pueden superar el 60% de pendiente (Fig 6). El rodal de estudio en el sector oeste presenta pendientes que van de los 0 a 30% con algunas zonas con 46 a 60%, en el sector sureste del rodal la pendiente se encuentra entre los 0 y 30%, mientras que en el sector noreste y centro del rodal la

pendiente es más pronunciada con un 46 a 60% de pendiente y en algunos casos supera el 60% de pendiente.

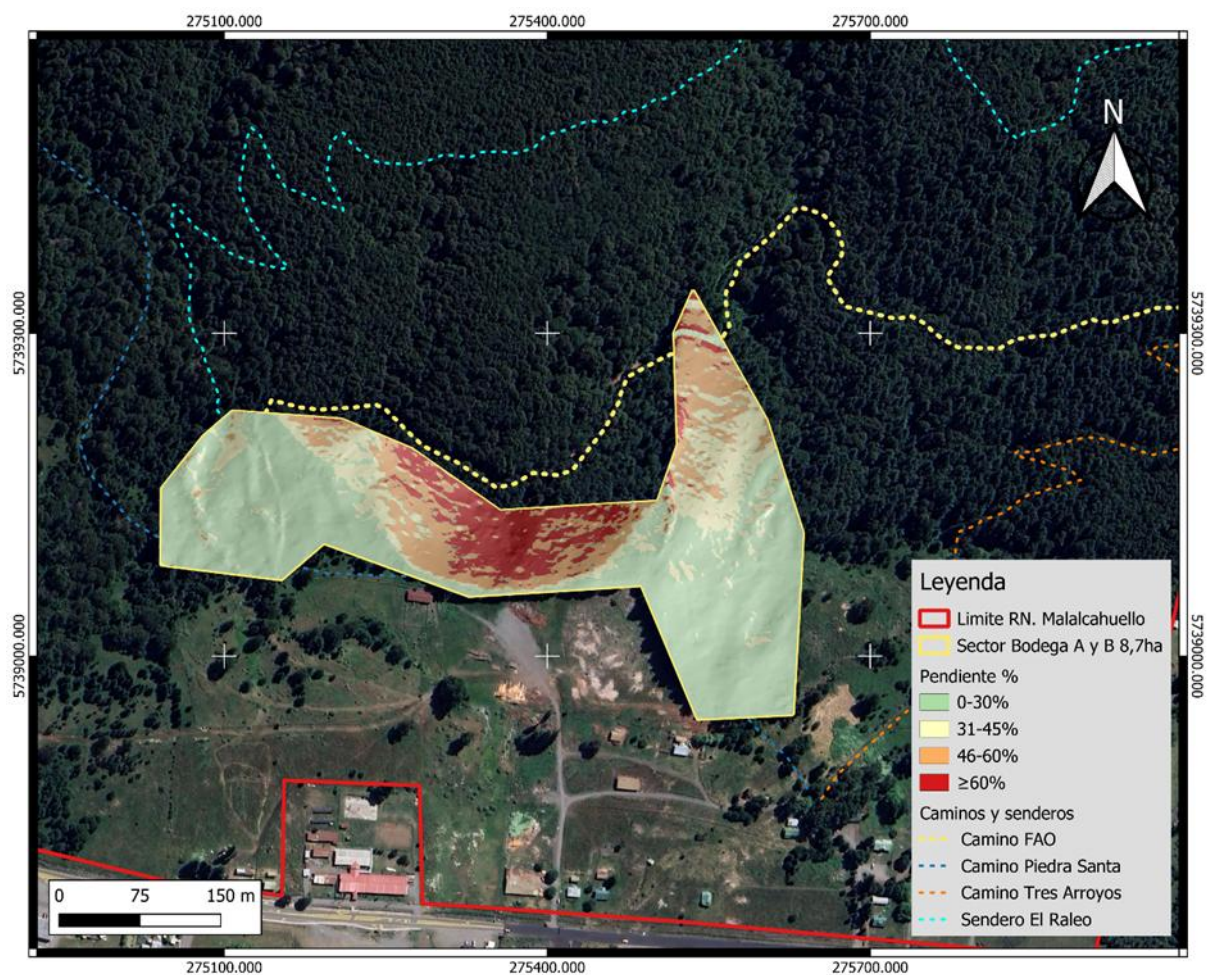


Fig. 6. Representación de la pendiente en porcentaje al interior del rodal de estudio. La pendiente al interior del rodal fue generada a partir de una capa de curvas de nivel de 50 cm, la cual se obtuvo con el vuelo drone modelo DJI Matrice 350 RTK durante el mes de septiembre del año 2025. Los valores de pendiente en porcentaje asignados para el rodal de estudio corresponden a rangos que solicita CONAF en sus planes de manejo de plantaciones y planes de manejo de preservación.

4.2 Propuesta de parcelas de muestreo forestal

Se obtuvo una cuadrícula con cuadros de 20 x 25 metros (500m²) (véase Anexo1). La densidad de árboles al interior del rodal es variable presentando 5 categorías de densidades con valores que van

de 0 a 63 individuos arbóreos. Los rangos que se presentan con frecuencia en el rodal corresponden al rango de 0 a 13 árboles y 13 a 25 árboles, en tanto los que presentan mayor densidad de árboles corresponden a los rangos de 38 a 50 y 50 a 63 árboles.

A continuación, se presentan las parcelas a muestrear en el rodal de estudio, las cuales corresponden a 2 parcelas para cada una de las 5 categorías de densidad de árboles (Fig 5). Los cuadrados de color blanco representan densidades que van de los 4 a 16 árboles en las cuadrículas de 500 m², mientras que los cuadros de color verde oscuro densidad de árboles que van de 51 a 63 árboles en los cuadros de 500 m². La mayor densidad de árboles se encuentra en sectores de plantaciones puras de pino oregon (sector sureste del rodal), mientras que la menor densidad se encuentra en zonas con parches de bosque nativo (sector oeste y noreste del rodal).

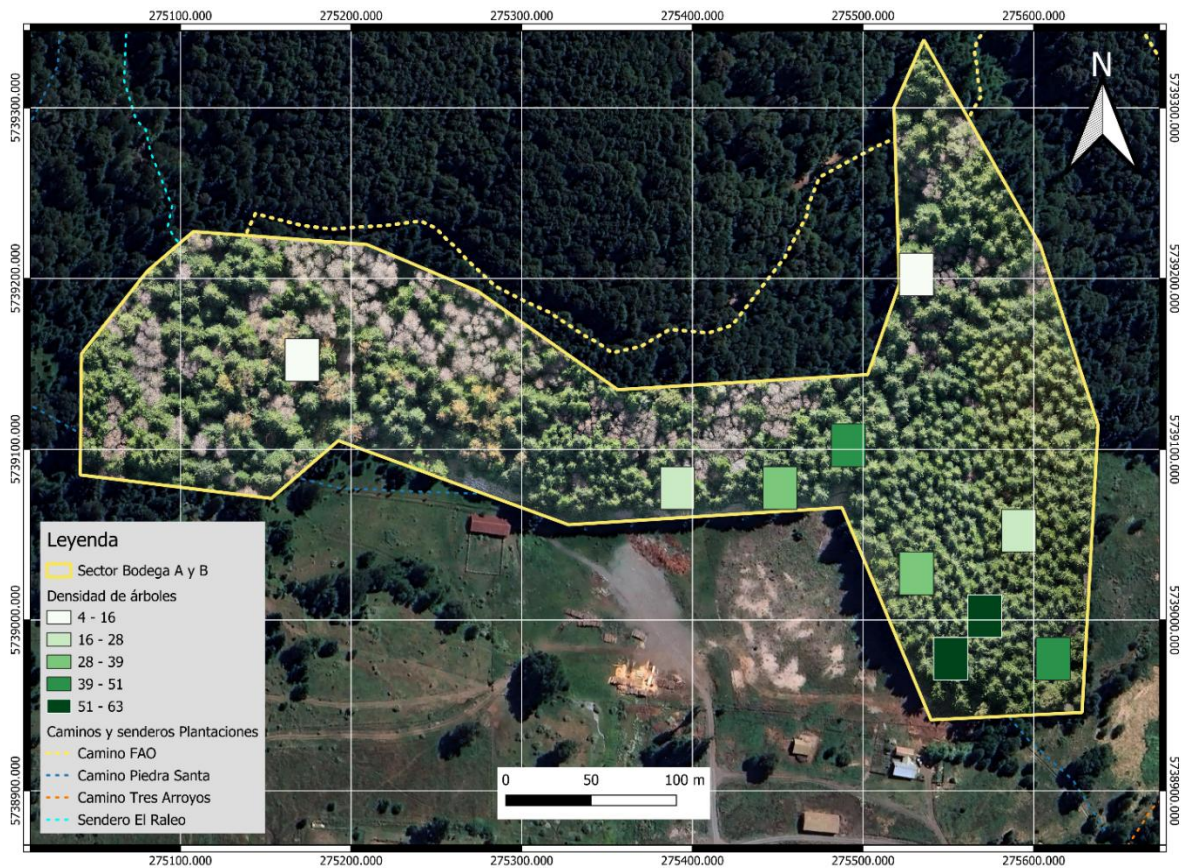


Fig. 5. Representación de las parcelas de muestreo de estructura forestal para el rodal de estudio. La selección de parcelas fue realizada de manera aleatoria procurando elegir 2 parcelas por cada categoría de densidad es

árboles. Cada cuadro presentado en el mapa cuenta con una superficie de 500 m² lo que equivale a parcelas de 20x25 metros.

4.3 Tratamientos

El rodal de estudio presenta dos usos de suelo (véase Anexo 3). En el sector “oeste”, la superficie se encuentra cubierta por un bosque mixto, en el que destacan individuos de pino oregón y raulí. En tanto en el sector “este” corresponde a una plantación pura y densa de pino oregón, mientras que el área noreste del rodal está conformada por un bosque mixto con presencia de pino oregón y raulí. Con los usos de suelos identificados para el rodal “Sector Bodega A y B”, sumado a la revisión de literatura asociada al pino oregon, la revisión bibliográfica sobre métodos de cosecha y los mapas de densidad de árboles se proponen 3 tratamientos; tala rasa, raleo y raleo de conversión (Fig 8).

4.3.1 Raleo

El raleo consistirá en la eliminación de todos los individuos de pino oregon presente en el sector “A” con una superficie de 4 ha y el sector “C” con una superficie de 0,95 ha (Fig 8), estos sectores se caracterizan por presentar una baja densidad de árboles. Al momento de la cosecha se procurará tener especial cuidado con todas las especies nativas presentes en el sector, además de cuidar la regeneración nativa bajo dosel que se encuentre creciendo y la eliminación de la regeneración de pino oregon. El objetivo principal de este tratamiento es retener los parches de bosque nativo con el fin de que sean estos mediante la semillacion de los árboles puedan poblar las superficies descubiertas en la que se encontraba el pino oregon y en caso de que sea necesario realizar un enriquecimiento con especies nativas.

4.3.2 Raleo de conversión

El raleo de conversión será aplicado en el sector “D” de 1,43 ha que presenta una composición pura de pino oregon (Fig 8). Se realizará una apertura de dosel cercana al 20% ya que, según la literatura, la regeneración de pino presenta un mal desempeño con un 20% de luminosidad (Loewe et al. 1996), pero eso cambia cuando la luminosidad aumenta entre un 50% a 70%. Por lo que se procurara que los claros creados no superen el 20% con el fin de evitar la regeneración exitosa de pino oregon y propiciar el crecimiento de especies nativas tolerantes/semitolerantes a la sombra. De acuerdo con los mapas de densidad de árboles el sector D presenta una alta densidad arbórea por lo que se espera que existan arboles semilleros cercanos y una alta cantidad de semillas en el suelo, con este

escenario se debe hacer una cuidadosa apertura de dosel que evite el crecimiento oportunista del pino oregon y propicie el poblamiento de especies nativas que se encuentren bajo dosel y si este no es el caso, hacer un enriquecimiento con especies nativas tolerantes/semitolerantes.

4.3.3 Tala rasa

La tala rasa se aplicará en el sector “B” de 2,34 ha y consistirá en la eliminación de todos los individuos de pino oregon presentes (Fig 8). A partir de la ortofoto generada por el vuelo drone este sector fue fotointerpretado como un área que presenta una composición pura de pino oregon, sin embargo, si al momento de cosechar se encuentran individuos nativos estos se retendrán en el lugar.

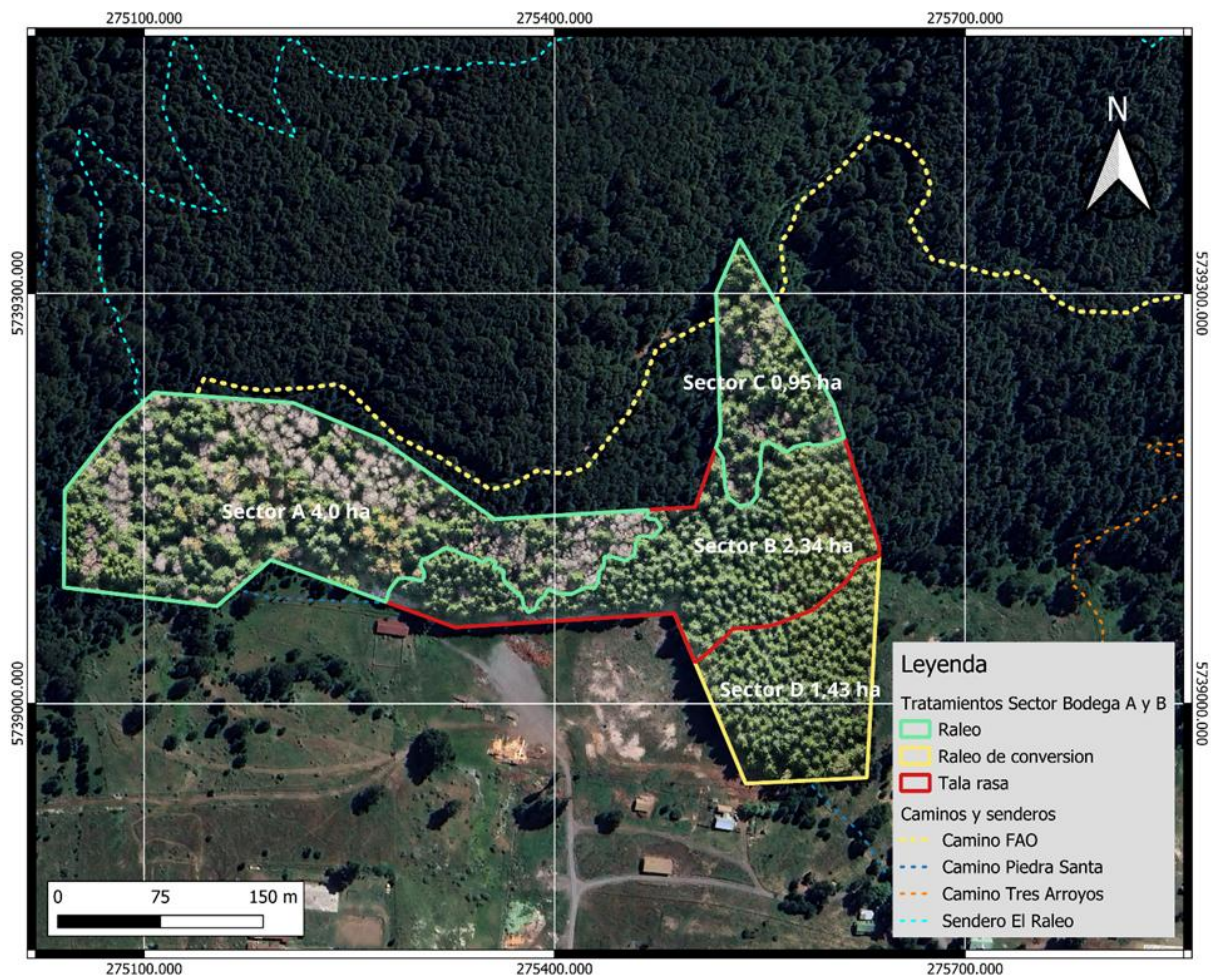


Fig. 8. Representación de los sectores a intervenir al interior del rodal mediante 3 tratamientos; tala rasa, raleo y raleo de conversión. El sector A y C comparten el mismo tratamiento al contar con parches de bosque nativo. El sector B de 2,34 ha será intervenido mediante tala rasa en toda su extensión, mientras que en el sector D

se realizará una intervención denominada “Raleo de conversión” la cual busca realizar una apertura gradual de dosel.

4.4 Reducción de copa del 20%

El sector “D” que forma parte del rodal “Sector Bodega A y B” será intervenido mediante un raleo de conversión, el cual tiene como objetivo la reducción gradual de copa cercana al 20% (Fig 9). La propuesta de reducción de copa consta de áreas de retención permanente y que gradualmente se eliminaran y zonas de eliminación de copa inmediata mediante un raleo. Las áreas de color verde oscuro corresponden a la cobertura arbórea que se busca retener en el rodal y que posteriormente se eliminara gradualmente, mientras que las áreas de color verde claro corresponden a las copas a tratar mediante un raleo de eliminación del 20% de la cobertura.

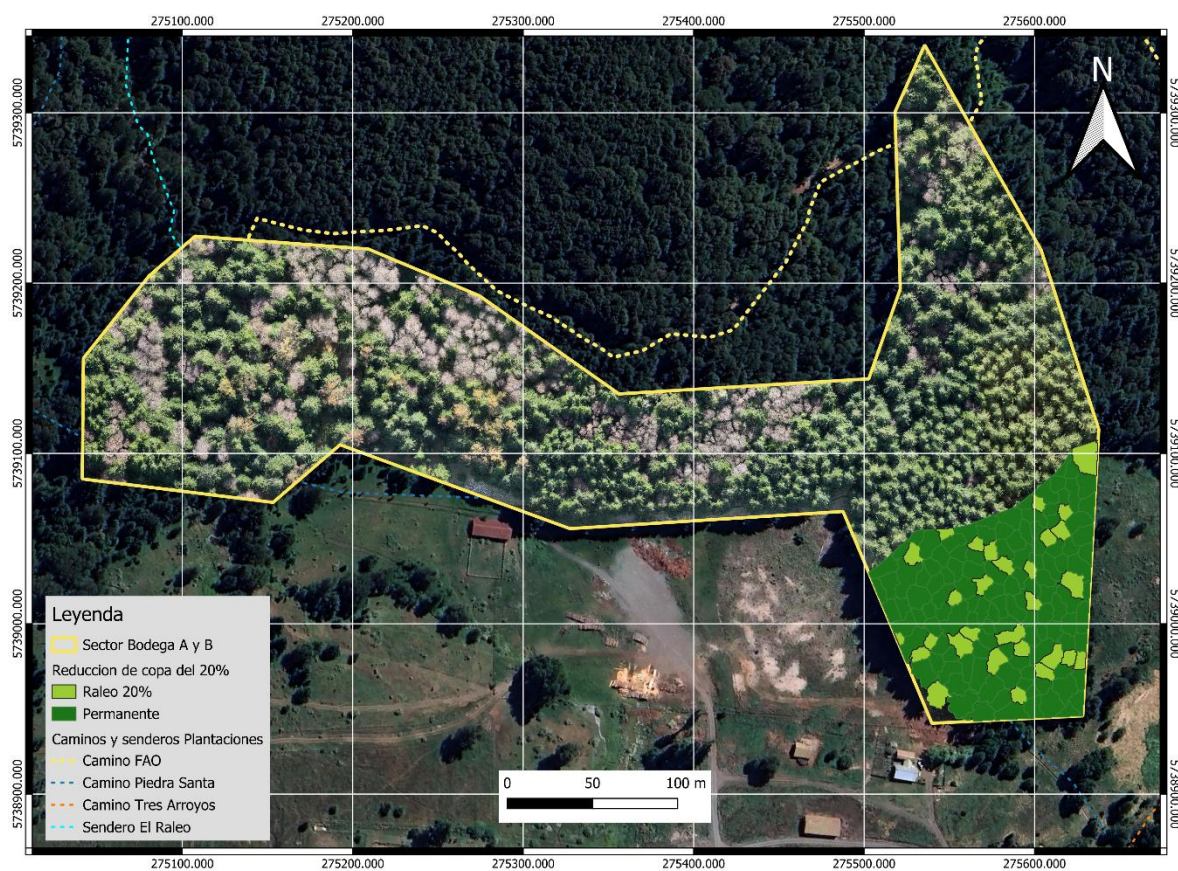


Fig. 9. Representación de la reducción de copa para el sector D que cuenta con una superficie de 1,43 ha y que corresponde a una plantación pura de pino oregon. En este sector se realizará el raleo de conversión, con una reducción de copa cercana al 20% con el fin de favorecer la regeneración de especies nativas tolerantes a la sombra.

5. Discusión

La densidad de árboles para el rodal de estudio tiende a ser mayor en la zona sureste del rodal y cuenta con una menor densidad en la zona este y noreste del rodal. Al relacionar la densidad con la variable topográfica “pendiente” la densidad es menor en las pendientes más pronunciadas por lo que la densidad se podría explicar por la pendiente. Esto también se puede explicar por la presencia de la fuente de propágulos ya que si la fuente se encuentra en las zonas bajas es difícil que por viento o gravedad las semillas se dispersen a zonas altas, así mismo ocurre si la fuente de propágulos se encuentra en las zonas altas, esta tendera a semillar a zonas bajas ya sea por gravedad y/o viento, aunque según Burmeister (2017) con fuertes vientos las semillas de pino oregon pueden propagarse por grandes extensiones de terreno por lo que se debe tomar datos en terreno en este rodal con el fin de conocer como es la semillacion y propagación al interior de esta unidad.

La vegetación al interior del rodal de estudio se compone de bosques mixtos y plantaciones puras de pino oregon, en el rodal el bosque mixto se encuentra en zonas con menor densidad de plantaciones, esto puede ocurrir por la ausencia de fuentes de propágulos, como consecuencia la regeneración de pino oregon es menor y la cobertura arbórea de la plantación disminuye, esto permite la regeneración de especies nativas. A su vez la presencia de árboles nativos adultos permite la llegada de especies arbustivas y del sotobosque que compiten con la regeneración de pino oregon. Se encuentra documentado en la literatura que el pino oregon presenta una debilidad en su crecimiento cuando la competencia de raíces es alta (Loewe et al. 1996).

La propuesta de tratamientos de cosecha para el rodal de estudio fue realizada a partir de la revisión sobre métodos de cosecha (Nahuelan, 2025), la revisión de la autoecología del pino oregon y considerando la densidad de arboles que se obtuvo a partir de la generación de mapas de densidad.

La aplicación de una franja a tala rasa de 90 a 100 metros de ancho entre los sectores A, C y D es estratégica, ya que se busca evitar la semillacion directa a los rodales vecinos, con esta franja las semillas deberán propagarse una mayor cantidad de metros (>100 m) para llegar al rodal más cercano y contar con una regeneración exitosa. A su vez el control de la regeneración de pino oregon

en la franja a tala rasa será más fácil, ya que según literatura la mayor densidad de regeneración ocurre en los primeros 20 metros desde la fuente de propágulos y tiende a disminuir con la distancia (Fuentes-Ramirez, 2024) por lo que se hará un control intensivo de las plántulas en esos primeros metros. Se espera que a distancias mayores la densidad de regeneración sea menor y el esfuerzo por eliminar los individuos sea menor.

6. Conclusión

El rodal de estudio presenta densidades arbóreas variables. En zonas con mayor porcentaje de pendiente existe una menor densidad de árboles que en zonas con menor porcentaje de pendiente. Las zonas con menor densidad de árboles se encuentran ubicadas en el sector oeste y noreste del rodal y corresponden a bosque mixto de especies nativas principalmente raulí y plantaciones de pino oregon, mientras que las zonas con mayor densidad de árboles son plantaciones puras de pino oregon.

El rodal para intervenir se caracteriza por presentar bosques mixtos y plantaciones puras y la intervención mediante los tratamientos se realizará tomando en cuenta esta característica. En sectores de bosque mixto se busca retener las especies nativas, mientras que en rodales puros se realizara una intervención a tala rasa y un tratamiento innovador denominado “raleo de conversión” que toma en consideración la autoecología del pino oregon.

La apertura de dosel del 20% presentada en este informe es teórica y corresponde a una aproximación de lo que se aplicara en terreno. Las condiciones de la vegetación en terreno son distintas a lo que se observa mediante una fotografía aérea y la selección misma de los árboles dependerá de lo que observe en terreno.

7. Referencias

- Axer, M., Schlicht, R., & Blickensdörfer, L. (2025). Quantile regression for estimating Douglas-fir natural regeneration potential using the R package quaxnat: Advanced ecological modeling for the management of nature conservation and silviculture. *Ecological Modelling*, 501, 110968. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110968>
- Bengoa, J. 1999 Historia de un Conflicto: El Estado y los Mapuches en el Siglo XX. Editorial Planeta SA, Santiago.
- Bionostra. 2025. Restauración Ecológica en Chile, ¿Cuál es la situación? Recuperado el 16 de diciembre de 2025, de: <https://bionostra.com/restauracion-ecologica-en-chile-cual-es-la-situacion/>
- Burmeister, E., 2017. Environmental Factors Influencing the Douglas fir Invasion of Nothofagus forest. Master Thesis. University of Canterbury. New Zealand, p. 81. <http://dx.doi.org/10.26021/8941>
- Blume, T., Zehe, E., & Bronstert, A. (2009). Use of soil moisture dynamics and patterns at different spatio-temporal scales for the investigation of subsurface flow processes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1215–1233. <https://doi.org/10.5194/hess-13-1215-2009>
- Bravo-Vargas, V., García, R. A., Pizarro, J. C., & Pauchard, A. (2019). Do people care about pine invasions? Visitor perceptions and willingness to pay for pine control in a protected area. *Journal of Environmental Management*, 229, 57-66.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2017). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681/Rev.2). <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/documentos/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-una-oportunidad-para-america-latina>
- Cóbar, Ana & Pauchard, Anibal & García, Rafael & Peña, Eduardo. (2014). Effect of Pinus contorta invasion on forest fuel properties and its potential implications on the fire regime of Araucaria araucana and Nothofagus antarctica forests. *Biological Invasions*. 16. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0663-8>.
- CONAF. 2021. Plan de Manejo de Plantaciones Forestales D.L. N° 701. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en <https://www.conaf.cl/centro-documental/planes-y-normas-de-manejo/>

CONAF. (1996). Plan de manejo Reserva Forestal Malalcahuello R.N. Malalcahuello (Documento de trabajo N° 2243). IX Región de La Araucanía, Chile: CONAF. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/9c7fe0b6-8478-4bd7-b45e-05656f55618d>

Esri. 2021. ¿Qué es un shapefile? Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>

FAO. 2024. El estado de los bosques del mundo 2024: Innovaciones en el sector forestal para lograr un futuro más sostenible. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd1211es>

FAO. 2025. Iniciativa +Bosques adjudica más de 400 proyectos para la gestión sustentable del bosque nativo. Recuperado el 17 de diciembre de 2025, de: <https://www.fao.org/chile/news-and-opinion/news/detail/Iniciativa-Bosques-adjudica-m%C3%A1s-de-400-proyectos-para-la-gesti%C3%B3n-sustentable-del-bosque-nativo-es>

Fuentes-Ramírez, A., Vargas-Gaete, R., Toy-Opazo, O., Muñoz-Gómez, N., Salas-Eljatib, C., & Pauchard, A. (2024). Control of invasive conifers in temperate Andean forests promotes native vegetation restoration, but requires continuous management. *Trees, Forests and People*, 16, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100581>

Gandhi, U. 2024. Creating Heatmaps (QGIS3). Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/creating_heatmaps.html.

Gray, A.N.; Spies, T.A. 1996. Gap size, within-gap position, and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology*. 84: 635-645. Consultado el 16 de diciembre del 2025. Disponible en: <https://research.fs.usda.gov/treearch/54624>

Herrera Jenó, R., & Soler Mayor, M. (2023). Evaluación de los compromisos relacionados con el sector forestal en la Contribución Nacional Determinada (NDC) de Chile (Edición de contenido: F. Liberona; Edición periodística: C. Moreno). Fundación Terram. Disponible en: https://www.terram.cl/descargar/cambio_climatico/Evaluacion-de-los-compromisos-relacionados-con-el-sector-forestal-en-la-NDC-de-Chile-2023.pdf

Kannegiesser Schuh, U.. (1988). Descripción básica del pino oregon (*Pseudotsuga menziesii*). *Ciencia e Investigación Forestal*, CIFOR, (Vol.2, Núm.3). páginas 57-64.

Kannegiesser Schuh, U.. (1989). Apuntes sobre pino oregon. 2. Regeneración natural de la especie. *En Ciencia e Investigación Forestal*, INFOR (Instituto Forestal de Chile), (Vol. 3, Núm.1). páginas 109-117. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://revista.infor.cl/index.php/infor/issue/view/10>

Klaus N. Kremer, Jan R. Bannister, Jürgen Bauhus, Restoring native forests from *Pinus radiata* plantations: Effects of different harvesting treatments on the performance of planted seedlings of

temperate tree species in central Chile, *Forest Ecology and Management*, Volume 479, 2021, 118585, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118585>.

Kremer, K. N., & Bauhus, J. (2024). Restoring native forests from *Pinus radiata* plantations: Natural regeneration of native tree species in response to different harvesting treatments in central Chile. *Restoration Ecology*, 33(1), 14.

Morales, A. 2018. ¿Cómo crear heatmaps o mapas de calor en QGIS? Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://mappinggis.com/2018/03/como-crear-mapas-de-calor-en-qgis-3/>

NOAA. 2024. What is LIDAR? National Ocean Service website. Consultado el 16 de diciembre del 2025. Disponible en <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>.

Nuñez, Martín A, Paritsis, Juan. How are monospecific stands of invasive trees formed? Spatio-temporal evidence from Douglas fir invasions, *AoB PLANTS*, Volume 10, Issue 4, August 2018, ply041, <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply041>

Lange, F., Ammer, C., Leitinger, G., Seliger, A., & Zerbe, S. (2022). Is Douglas Fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco] invasive in Central Europe? A case study from South-West Germany. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, Article 844580. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.844580>

Loewe Muñoz, V., Camelio Rodríguez, M., Fernández Quiroga, M. (1996). Monografía de pino oregón *Pseudotsuga menziesii*. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/3912>

QGIS Development Team. (2024). QGIS 3.40 documentation. Consultado el 16 de diciembre de 2025. Disponible en: <https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/index.html>.

Quiroz Marchant, I., Rojas Ponce, Y. (2003). Pino ponderosa y Pino oregón: coníferas para el sur de Chile. Valdivia, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/609>

Smith-Ramírez, Cecilia, González, Mauro E, Echeverría, Cristian, & Lara, Antonio. (2015). Estado actual de la restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos: Current state of ecological restoration in Chile: Perspectives and challenges. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1), 11-21. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100002>

Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman & Hall.

Toraño Caicoya, Astor & Cueva Ortiz, Jorge & Uhl, Enno & Pretzsch, Hans & Weikl, Fabian & Biber, Peter. (2025). Influencing factors of mature stands and stumps on the height growth of planted regeneration. *Forest Ecology and Management*. 592. 10.1016/j.foreco.2025.122828.

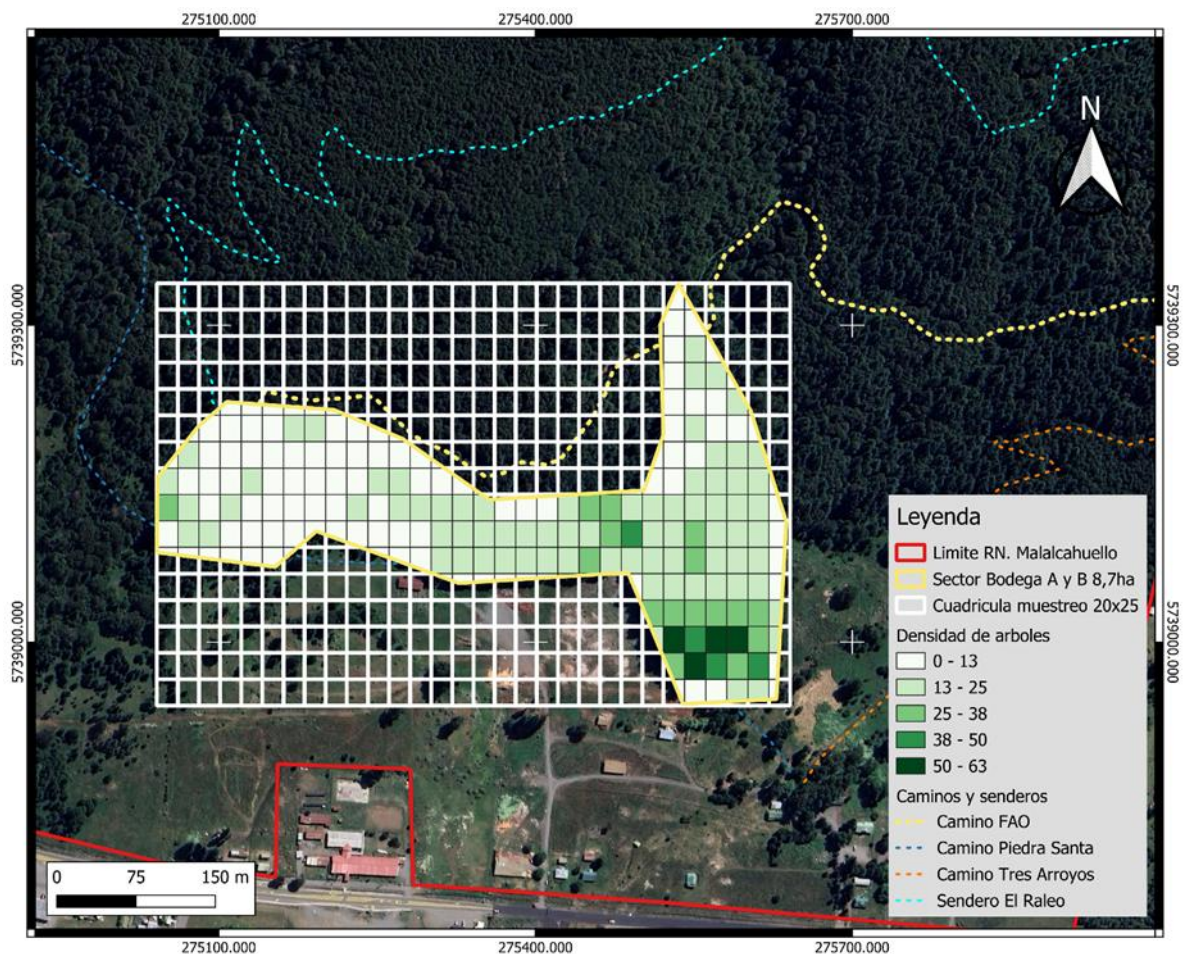
Von Holle, B., & Simberloff, D. (2005). Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology*, 86(12), 3212–3218. <https://doi.org/10.1890/05-0427>

Wasser, L. 2024. What is a CHM, DSM and DTM? About Gridded, Raster LIDAR Data. The National Ecological Observatory Network. Consultado el 16 de diciembre del 2025. Disponible en: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/chm-dsm-dtm>.

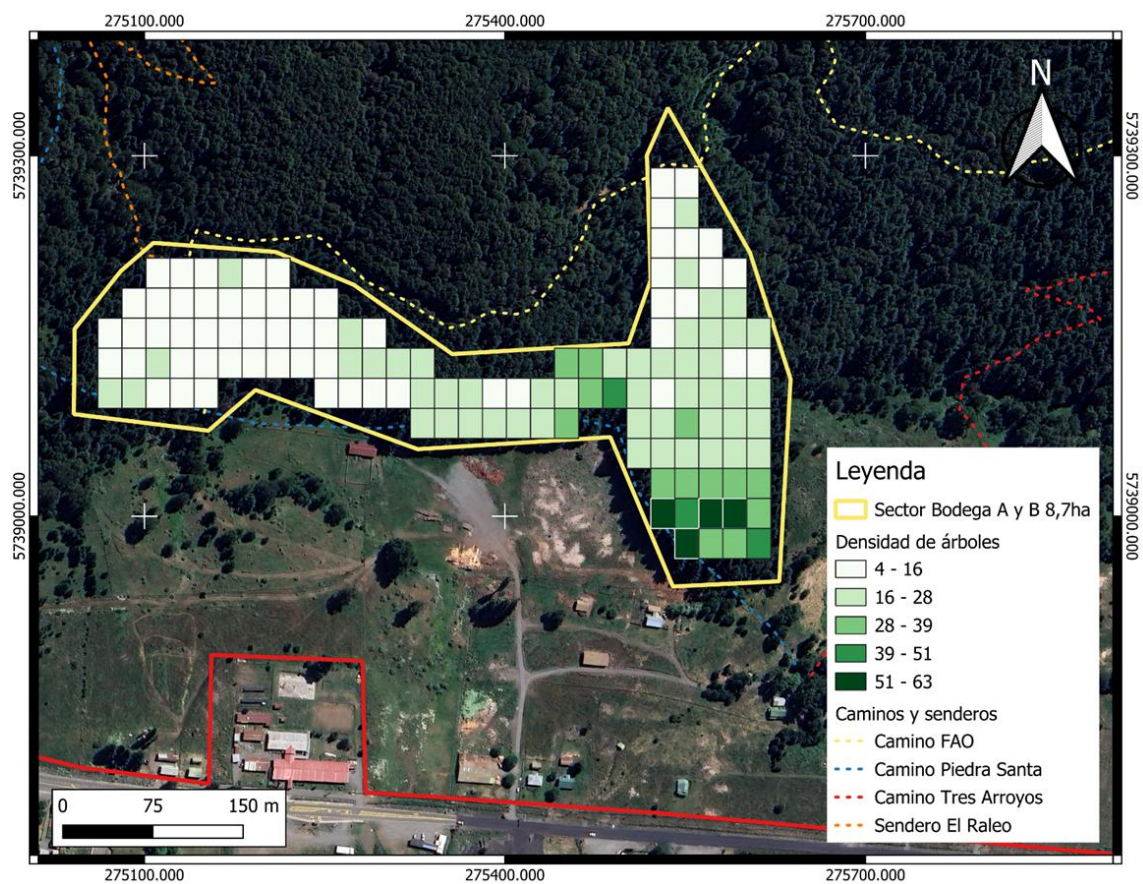
Wienstroer, Marion, Siebert, Herbert, & Müller-Using, Burkhard. (2003). Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la precordillera andina de Valdivia. *Bosque (Valdivia)*, 24(3), 17-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300002>

8. Anexos

Anexo 1. Elaboración de cuadrícula con cuadros de 20x25 metros para el rodal de estudio. Las categorías presentadas muestran distintas densidades de árboles.



Anexo 2. Representación de los cuadros de 20x25 ajustado para el rodal de estudio. Las categorías muestran la densidad de árboles para el rodal. Los cuadros presentados tienen una superficie de 500 m².



Anexo 3. Representación de los usos de suelo al interior del rodal de estudio. La ortofoto obtenida con el vuelo drone fue utilizada para realizar la fotointerpretación. Se identificaron 2 usos de suelo al interior del rodal de estudio. Bosque mixto con presencia de plantación de pino oregon y parches de bosque nativo y una plantación pura de pino oregon.

