

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y MEDIOAMBIENTE
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**



**RETENCIÓN DE ESPECIES NATIVAS BAJO DOSEL DE PLANTACIONES DE
PINUS RADIATA EN EL CENTRO SUR DE CHILE**

Actividad de Titulación presentada en la modalidad de Formulación, Diseño y/o Ejecución de Proyectos, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero(a) en Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera.

**NATALIA GERTNER BURGOS
PROFESOR GUÍA: DR. RODRIGO VARGAS GAETE**

TEMUCO – CHILE

2024

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	5
2. SUMMARY.....	6
4. MARCO TEÓRICO	8
Pérdida de bosques a nivel mundial.....	8
Plantaciones forestales en Chile	9
Biodiversidad en Chile	10
Retención de especies nativas en plantaciones forestales.....	10
5. HIPÓTESIS.....	14
6. OBJETIVO GENERAL	14
7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
8. METODOLOGÍA	15
8.1. Área de estudio.....	15
8.2. Diseño de muestreo	16
8.3. Análisis de datos.....	18
8.3.1. Diversidad de plantas vasculares.....	18
8.3.2. Variables de sitio y micrositio asociadas a la composición florística	19
9. RESULTADOS.....	20
9.1. Estructura arbórea	22
9.2. Diversidad de plantas vasculares.....	23
9.2.1. Riqueza de especies.....	24
9.3. Análisis de las variables de sitio y micrositio	27
9.4. Análisis de la regeneración de especies arbóreas.....	29
10. DISCUSIÓN.....	32
10.1. Composición florística y diversidad de plantas vasculares	32
10.2. Variables asociadas a la composición florística.....	33
10.1. Regeneración de especies nativas.....	33
11. CONCLUSIÓN	35
12. CUMPLIMIENTO DEL PERFIL PROFESIONAL	36
12.1. Relación con el perfil del titulado	36
12.2. Cumplimiento de las competencias profesionales	36
12.3. Recomendaciones	36
13. AGRADECIMIENTOS	37
14. BIBLIOGRAFÍA	38
15. ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables abióticas que influyen en la diversidad y abundancia de especies.....	11
Tabla 2. Atributos de sitio y micrositio del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio.....	20
Tabla 3. Estructura arbórea del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio..	21
Tabla 4: Regeneración de especies arbóreas del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio.	21
Tabla 5: Riqueza de especies del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio.....	22
Tabla 6: Estructura según especies en sitio Los Barros.....	22
Tabla 7: Estructura según especies en sitio Rucamanque.	23
Tabla 8: Índice de disimilitud de Jaccard entre las distintas condiciones.....	23
Tabla 9: Regeneración por especies en sitio Los Barros en las distintas condiciones.....	30
Tabla 10: Regeneración por especies en sitio Rucamanque en las distintas condiciones...	31
Tabla 11: Etapa sucesional de las especies regenerando en plantaciones en sitios Los Barros.....	46
Tabla 12: Etapa sucesional de las especies regenerando en plantaciones en sitios Rucamanque.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Potencial de servicios ecosistémicos según la complejidad de la estructura forestal..	9
Fig. 2. Ubicación de área de estudio, incluyendo ambos sitios de muestreo	16
Fig. 3. Representación del diseño de muestreo	17
Fig. 4. Índice de diversidad de Shannon para las distintas condiciones en ambos sitios de estudio.	24
Fig 5. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición.	25
Fig 6. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición en sitio Los Barros.	25
Fig 7. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición en sitio Rucamanque.	26
Fig 8. Diagrama de Venn de las especies compartidas por condición en sitio Los Barros...	26
Fig. 9. Diagrama de Venn de las especies compartidas por condición en sitio Rucamanque	27
Fig. 10. Ordenación NMDS con datos florísticos en sitio Los Barros.....	28
Fig. 11. Ordenación NMDS con datos florísticos en sitio Rucamanque. La longitud de las líneas indica el nivel de ajuste de las variables.	29
Fig. 12. Regeneración de especies nativas por categoría de altura de las distintas condiciones en sitio Los Barros. C	30
Fig. 13. Regeneración de especies nativas por categoría de altura de las distintas condiciones en sitio Rucamanque.....	31
Fig. 14. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Bosque Nativo (N = 30), Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N =15) en sitio Los Barros.....	44
Fig. 15. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Bosque Nativo (N = 30), Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N =15) en sitio Rucamanque.....	45

1. RESUMEN

En Chile y en muchos lugares el cambio de uso de suelo de bosques nativos a plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento ha ocasionado una disminución en la provisión de importantes servicios ecosistémicos como la mantención de la biodiversidad. Esto ha puesto en urgencia el desafío de implementar medidas para la reconversión. Sin embargo, hay poca evidencia documentada sobre estrategias de reconversión, ya sea a través de enfoques activos o pasivos. En este estudio se probó la hipótesis que establece que las plantaciones de *Pinus radiata* con un manejo extensivo retienen una diversidad de plantas vasculares más similar a la de los bosques nativos cercanos que aquellas con manejo intensivo. Los objetivos fueron (1) comparar la diversidad de plantas vasculares de plantaciones de *P. radiata* y bosques naturales próximos, (2) conocer los atributos de sitio que explican esta diversidad en plantaciones de *P. radiata* y (3) analizar la abundancia de regeneración de especies nativas con potencial maderero bajo el dosel de estas plantaciones. En dos sitios del centro sur de Chile se establecieron un total de 24 transectos para evaluar la composición florística, la regeneración arbórea y las variables de sitio y rodal en plantaciones con esquemas de manejo intensivo y extensivo y bosques nativos cercanos. Las plantaciones mostraron una alta diversidad y una composición florística distinta a la del bosque nativo independiente del esquema de manejo, la cual estuvo relacionada principalmente con la edad de la plantación y la densidad de árboles. Plantaciones con manejo intensivo mostraron mayor abundancia de regeneración. Este estudio indica que, si bien el tipo de manejo empleado en las plantaciones no tuvo un mayor impacto sobre la composición florística, mantener variables de rodal óptimas puede aumentar la diversidad al interior de estas y que existe un potencial de regeneración de especies nativas para la reconversión que debe ser analizado más a fondo.

2. SUMMARY

In Chile and in many places, the change of land use from native forests to forest plantations with fast-growing species has caused a decrease in the provision of important ecosystem services such as biodiversity maintenance. This has made the challenge of implementing conversion measures urgent. However, there is little documented evidence on conversion strategies, either through active or passive approaches. This study tested the hypothesis that extensively managed *Pinus radiata* plantations retain a vascular plant diversity more similar to that of nearby native forests than those under intensive management. The objectives were (1) to compare the vascular plant diversity of *P. radiata* plantations and nearby natural forests, (2) to know the site attributes that explain this diversity in *P. radiata* plantations, and (3) to analyze the abundance of regeneration of native species with timber potential under the canopy of these plantations. A total of 24 transects were established at two sites in south-central Chile to evaluate floristic composition, tree regeneration and site and stand variables in plantations with intensive and extensive management schemes and nearby native forests. The plantations showed a high diversity and a floristic composition different from that of the native forest regardless of the management scheme, which was mainly related to the age of the plantation and tree density. Intensively managed plantations showed a higher abundance of regeneration. This study indicates that, although the type of management employed in the plantations did not have a major impact on the floristic composition, maintaining optimal stand variables can increase diversity within the plantations and that there is a potential for regeneration of native species for reconversion that should be further analyzed.

3. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo corresponde al resultado de la actividad de titulación realizada como requisito para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales, en la modalidad de Formulación, Diseño y/o Ejecución de Proyectos. Este fue desarrollado en el Laboratorio de Ecosistemas y Bosques (EcoBos) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera. Específicamente el trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Investigación Estratégico, financiado por el Centro de Excelencia para la industria de la Madera (CENAMAD), denominado: “Evaluación de especies nativas bajo el dosel de plantaciones: propuesta para integrar biodiversidad, valor maderero y servicios ecosistémicos al manejo forestal en el centro-sur de Chile”. Este proyecto aborda una problemática relevante en el país, donde la expansión de plantaciones forestales ha modificado drásticamente el paisaje, generando discusiones y preocupaciones respecto a su impacto en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Paquette & Messier, 2010).

La controversia en torno al reemplazo de bosques nativos por plantaciones forestales en el centro-sur de Chile se ha incrementado en distintas esferas de la sociedad, destacando la necesidad de un enfoque más sostenible en la gestión forestal y prácticas orientadas a la diversificación del mercado forestal (Werner & Téllez, 2016)

Las iniciativas de restauración ecológica, impulsadas por las principales empresas forestales en el marco de sus compromisos de certificación FSC (Forest Stewardship Council), incluyen como parte importante compensar la pérdida de bosque nativo causada por la expansión de las plantaciones forestales. Sin embargo, la inversión destinada a esta compensación, en muchos casos, no ha alcanzado los resultados deseados y no ha cumplido con los objetivos establecidos (Smith-Ramírez et al., 2015). En este contexto, es esencial explorar nuevas estrategias de conversión, con énfasis en el cuidado y la promoción del sotobosque bajo las plantaciones. Esto podría generar beneficios significativos al favorecer la retención de especies y promover una coexistencia más equilibrada entre especies exóticas y nativas, que a futuro puede incidir en un manejo innovador de los paisajes dominados por plantaciones forestales, considerando especies arbóreas nativas con fines productivos y en un mercado de valor para ciertas especies arbóreas del país. En este sentido las prácticas silvícolas se convierten en un componente clave en el proceso de planificación que precede a la implementación de acciones de conversión. Este enfoque implica el uso estratégico de técnicas validadas basadas en el conocimiento profundo tanto de las especies presentes, como la comprensión de la ecología y dinámica de los bosques (Bannister et al., 2016)

Sin embargo, en la actualidad, en el país hay una falta de conocimiento sobre cómo reconvertir plantaciones sea con medidas activas o pasivas. Es necesaria información sobre cómo se incorporan especies nativas en las plantaciones, especialmente en lo que respecta a las variables que influyen en este proceso, así como una necesidad de traducir este conocimiento en políticas y acciones clave para la reconversión a bosques nativos (McFadden & Dirzo, 2018).

Considerando esto, los objetivos de esta investigación son:

- (1) comparar la diversidad de plantas vasculares de plantaciones de *Pinus radiata* y bosques naturales próximos.
- (2) conocer los atributos de sitio que explican la diversidad de plantas vasculares de plantaciones de *Pinus radiata*.
- (3) analizar la abundancia de regeneración de especies nativas con potencial maderero bajo el dosel de estas plantaciones.

4. MARCO TEÓRICO

Pérdida de bosques a nivel mundial

Los bosques naturales han disminuido en 178 millones de hectáreas a nivel global desde 1990 (FAO, 2020), lo cual conlleva la pérdida de beneficios críticos que los bosques producen, denominados servicios ecosistémicos (SE), los cuales incluyen formación de suelo, mantención de ciclo de nutrientes, disminución de eventos climáticos extremos, purificación del agua y promoción de valores estéticos, artísticos y/o espirituales (Corvalán et al., 2005). Gran parte de la disminución en cobertura de bosques nativos ha sido a causa del establecimiento de plantaciones forestales de especies exóticas (Curtis et al., 2018) las cuales no logran proveer los mismos SE que los bosques naturales, debido a la simplificación en su estructura y composición de especies (fig. 1) (Bremer & Farley, 2010). Por otra parte, sí facilitan la tarea de suplir la demanda de productos como madera, fibras o combustible de una población en constante aumento, debido principalmente a la mayor rapidez para generar estos productos que presentan respecto a los bosques naturales, lo cual también se traduce en una mayor rentabilidad (Promis, 2020).

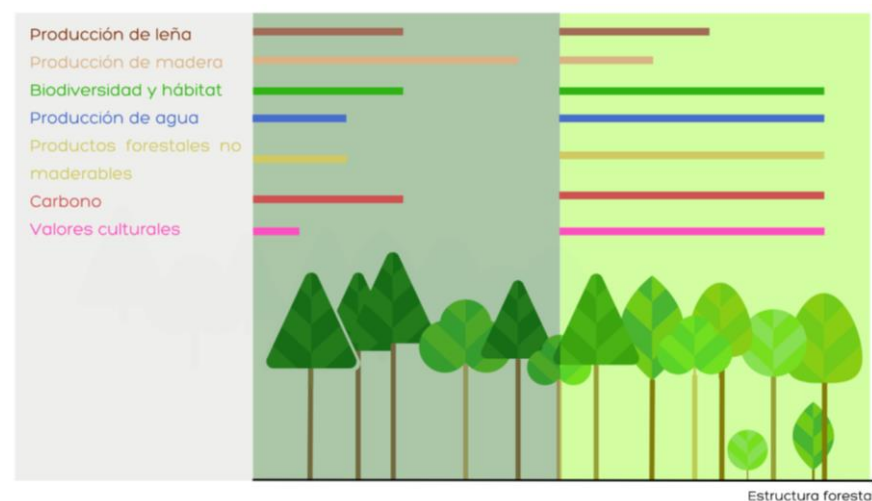


Fig. 1. Potencial de servicios ecosistémicos según la complejidad de la estructura forestal. En verde oscuro se representa una estructura forestal simple (plantación forestal) y en verde claro una estructura compleja (bosque nativo). Las líneas representan teóricamente la potencialidad de los distintos servicios ecosistémicos (adaptado de (Baral et al., 2016; Wilson et al., 2017).

Plantaciones forestales en Chile

En Chile, las plantaciones forestales incrementaron desde el año 1974 con la dictación del Decreto Ley 701 que fomentaba la forestación a través de bonificaciones, lo cual permitió que en solo 5 años (1974-1979) se plantaran cerca de 170 mil ha (Monje-Hernández, 2020; Paulsen, 2006). Desde entonces el sur del país ha cambiado el paisaje radicalmente, con el establecimiento de extensas superficies de especies arbóreas exóticas, principalmente *Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus globulus* Labill. (R. M. Navarro & Henríquez, 2005). Gran parte de estas plantaciones se establecieron en terrenos con un alto grado de degradación por un previo uso agrícola intensivo (Estades & Escobar, 2005). Sin embargo, existen evidencias de que a medida que disminuye la disponibilidad de áreas adecuadas para la expansión de actividades forestales, estas comienzan a ocupar áreas cubiertas por bosques naturales que presentan menos accesibilidad (Miranda et al., 2015). Si bien se ha señalado que el establecimiento de plantaciones forestales ha traído beneficios al quitar presiones al bosque nativo (Paquette & Messier, 2010), cuando este ha sido reemplazado por plantaciones se genera gran controversia. De esta forma a largo de los años estas han sido objeto de críticas asociadas a su impacto negativo en los ecosistemas naturales, servicios ecosistémicos, cuencas hidrográficas, paisajes culturales principalmente Mapuche y sobre la biodiversidad (Hasan et al., 2020; López Varela & Muñoz, 2019). Pese a lo anterior, las plantaciones forestales y el sector forestal sigue siendo uno de los más grandes en el país con aproximadamente 3,11 millones de hectáreas catastradas al año 2021 (CONAF, 2021).

Biodiversidad en Chile

Mantener la biodiversidad en Chile ha constituido un desafío constante, impulsado por las singulares características geográficas que otorgan al país cualidades de isla biogeográfica, lo que se manifiesta en los altos índices de diversidad y endemismo presentes en su territorio (Villagran & Hinojosa, 1997). En el centro – sur, la Cordillera de Nahuelbuta se ha destacado como una de las zonas de máxima prioridad para la conservación no solo para Chile sino para la conservación de la biodiversidad a nivel global. Su relevancia se fundamenta en los elevados niveles de endemismo presentes en sus bosques. Esta alberga cerca de 690 especies de plantas vasculares nativas, de las cuales 265 son endémicas, constituyendo el 55% de las 480 especies endémicas que se encuentran a lo largo de todo Chile continental (Wolodarsky-Franke & Díaz, 2011). La zona conocida como “Ecoregión de Los Bosques Valdivianos” por la presencia de bosques templados, se ha identificado como una de las 25 áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad a nivel mundial (Myers et al., 2000). Estas áreas prioritarias, o hotspots de biodiversidad, se definen como aquellas que albergan al menos 1.500 especies de plantas vasculares endémicas (i.e. > 0,5% del total mundial) y han perdido al menos el 70% de su hábitat original (Mittermeir et al., 2000). En la actualidad, esta región abarca aproximadamente el 40% del territorio chileno, desde la costa del Pacífico hasta las cumbres andinas (25 y 47°S), englobando la estrecha franja costera (25 y 19°S), además de la isla de Juan Fernández, Chile central, el Norte Chico y parte del sur de Chile (IX hasta parte de la XI Región). Se estima que esta área prioritaria alberga 3.892 especies de plantas vasculares, de las cuales el 50% serían endémicas de este *hotspot* en particular (Arroyo et al., 2006).

Retención de especies nativas en plantaciones forestales

A pesar de las notables transformaciones en el paisaje causadas por las plantaciones forestales en Chile y principalmente en la zona centro sur, estas áreas no deben considerarse simplemente como sustitutas del bosque nativo o como "desiertos biológicos", es decir, zonas incapaces de sostener diversidad nativa, como han sido descritas por mucho tiempo (Brockhoff et al., 2008). Aunque las plantaciones de especies exóticas, difieren en muchos aspectos de los bosques nativos, también comparten similitudes, al menos en términos de condiciones abióticas. Algunos estudios han demostrado que pueden conservar ciertos niveles de biodiversidad nativa y en algunos casos, superar la capacidad de retención de otros usos del suelo, como la agricultura intensiva dada la cobertura que estas ofrecen para el establecimiento de algunas especies (Brockhoff et al., 2003; Humphrey et al., 2002; Geldenhuys, 1997)

La retención de especies nativas dentro de plantaciones forestales depende de distintos factores, que se asocian a la factibilidad de que semillas de plantas nativas se dispersen hacia el interior de estas y de que estas semillas sobrevivan y germinen (García et al., 2016). Esto puede variar según distintos factores de la plantación como el tipo de manejo (i.e. intensivo o extensivo), la proximidad a un parche de bosque nativo, la fragmentación producida por caminos o accesos forestales, disturbios mecánicos asociados a actividades de poda, raleo o cosecha (Heinrichs et al., 2018). En términos generales el tipo de manejo está determinado por la cantidad de cortas intermedias que se realizan en un rodal. De esta manera se caracteriza como manejo intensivo aquellos rodales que presentan más de una poda y un raleo, y manejo extensivo los rodales que presentan un raleo o menos (Laclau et al., 2002)

Existen variables de sitio y micrositio que pueden influir en la diversidad y abundancia de especies que puede encontrarse al interior de un bosque nativo o plantación (Heinrichs et al., 2018). Algunas variables relevantes se presentan en la tabla 1;

Tabla 1: Variables abióticas que influyen en la diversidad y abundancia de especies.

Variable	Descripción	Unidad de medida o representación.	Fuente (Referencias)
Altitud	Medida de la distancia vertical entre un punto determinado de la superficie terrestre en relación con el nivel del mar. Esta variable determina en gran manera la composición de especies debido a que en un gradiente altitudinal varían las condiciones biogeográficas y climáticas, a las cuales las especies tienen distintas tolerancias.	Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).	(Sánchez Medrano, 2018)
Pendiente	Declive e inclinación del terreno respecto a la horizontal. El efecto de la pendiente puede deberse a que; (1) altas pendientes incrementan la cantidad y heterogeneidad de microhábitats por lo que más especies pueden coexistir (Burnett et	Grados o porcentaje.	(de Toledo et al., 2011; Gale, N, 1997; Phillips et al., 1994)

	al., 1998; Zelený et al., 2010). (2) altas pendientes se relacionan con mayores tasas de mortalidad de árboles lo que puede permitir el establecimiento de otras especies.		
Exposición	Orientación geográfica de la superficie, que determina cómo enfrenta la luz solar. En Chile la exposición suroeste es más húmeda, mientras que la noreste recibe radiación solar directa, esto genera condiciones de microhábitat muy distintas lo que influye en las especies que podrán establecerse, particularmente en epífitas y trepadoras.	Puntos cardinales.	(Moretti et al., 2019)
Cobertura/apertura del dosel	Capa superior de vegetación compuesta por la copa de los árboles. Esta tiene influencia en la cantidad y distribución de luz que permite ingresar al interior del sistema forestal.	Porcentaje.	(Moretti et al., 2019)
Radiación solar	Proceso de transmisión de la energía emitida por el sol hacia la superficie terrestre. Esta es la única energía para los procesos biológicos que realizan las plantas, sin embargo, cada especie tiene requerimientos diferentes por lo que esta determina en gran manera la composición de especies.	kW/m ² o mol/m ²	(Hueveldop et al., 1986; Islas Madrid et al., 2013)
Cobertura del suelo	A nivel de microhábitat esta se entenderá como la presencia de (a) restos leñosos: incluyen los troncos	Porcentaje.	(Bonilla et al., 2009; Cardozo et al., 2011)

	de árboles muertos, las ramas, los tocones y otras piezas de madera en contacto con el suelo, (b) suelo mineral: suelo descubierto u (c) hojarasca: caída de hojas, que representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo. Esta forma un estrato orgánico conocido como mantillo, el cual cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad.		
--	---	--	--

Otras variables bioclimáticas como la precipitación y variables relativas a la composición del suelo tienen influencia en la composición de especies.

Las variables asociadas a características del rodal o estructura también han demostrado ser importantes para la composición y diversidad de plantas vasculares (Ashfaq et al., 2019; Bockerhoff et al., 2003). La edad de la plantación es una de las variables con mayor influencia sobre la diversidad, donde mayormente se ha señalado que a mayor edad la diversidad aumenta significativamente (Cao et al., 2011), sin embargo, algunos estudios han demostrado que la riqueza de especies aumenta dentro de los primeros 20 años de la plantación, y luego tiende al declive (Paillet et al., 2012). La densidad de árboles puede modificar la diversidad de plantas del sotobosque ya que influye sustancialmente en los atributos del suelo. Una densidad moderada promueve la retención de nutrientes y la tasa de descomposición de materia orgánica, mientras que una densidad muy alta limita la disponibilidad de fósforo en el suelo lo que reduce el establecimiento de algunas especies (Tamura & Yamane, 2017; Yunxiang et al., 2021). Por otra parte el área basal se relaciona positivamente con un aumento en la cobertura de dosel (Mitchell & Popovich, 1997) lo cual conduce a un cambio a largo plazo en la composición florística hacia especies más tolerantes a la sombra y al estrés (Laughlin et al., 2011).

Comprender las variables de estructura es esencial en la promoción del establecimiento de especies nativas bajo el dosel de plantaciones ya que cada una puede ser controlada mediante estrategias de manejo.

Por esto, a pesar de la predominancia de las plantaciones de *Pinus radiata* en el paisaje de la zona centro sur de Chile existe evidencia de que éstas en condiciones de primera rotación, conservan un sotobosque de regeneración natural de especies nativas arbóreas similar a la composición de los bosques nativos cercanos (Kremer et al., 2022). Esto representa una oportunidad para la conversión de plantaciones exóticas a bosques nativos mediante la regeneración natural, una práctica que puede adentrar al país en un campo que ha sido poco explorado e incluso cuestionado; el manejo de bosque nativos con distintos objetivos, el cual puede tener altos beneficios (Salas-Eljatib et al., 2016).

5. HIPÓTESIS

Las plantaciones de *Pinus radiata* en la zona centro sur de Chile con un manejo extensivo retienen una diversidad de plantas vasculares más similar a la de los bosques nativos aledaños que aquellas con manejo intensivo.

6. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la retención de biodiversidad de especies de plantas nativas bajo el dosel de plantaciones de *Pinus radiata* en el centro-sur de Chile.

7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1. Contrastar la diversidad de especies vasculares bajo el dosel de plantaciones de *Pinus radiata* y parches de bosques nativos aledaños en dos sitios del centro sur de Chile.

OE2. Evaluar condiciones de sitio en plantaciones y parches de bosques nativos aledaños, que explican la diversidad de especies vasculares nativas bajo su dosel.

OE3. Analizar la abundancia de regeneración de especies nativas arbóreas evaluando variables asociadas al crecimiento de taxa de interés maderero y proponiendo recomendaciones innovadoras de manejo.

8. METODOLOGÍA

8.1. Área de estudio

Como área de estudio se seleccionaron dos sitios del centro – sur de Chile correspondientes a fundos de actividad forestal. En la región del Bío-Bío el Fundo Los Barros (de ~5.000 ha), ubicado en el sur de la comuna de Nacimiento (37°33'20 S) en la ladera occidental de la Cordillera de Nahuelbuta. Este se encuentra cubierto principalmente de plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*, y bosque nativo del tipo Roble – Raulí – Coigue. En esta zona de la Cordillera de Nahuelbuta el clima es de tipo mediterráneo con una tendencia al aumento en las precipitaciones, que fluctúan entre los 1200 y 2000 mm anuales, con un periodo de sequía estival. y una leve disminución de la temperatura al aumentar la latitud. El bosque nativo es de tipo templado, donde predominan especies como *Nothofagus obliqua*, y en los sectores de mayor altitud *Podocarpus saligna*. Además, está acompañado por un denso sotobosque formado por *Drimys winteri*, *Aextoxicon punctatum*, *Gevuina avellana*, *Lomatia hirsuta* y distintas especies de arbustos y herbáceas (BCN, 2010; di Castri & Hajek, 1976)

En la región de La Araucanía el sector Rucamanque, ubicado en el norte de la comuna de Temuco (38°38'40 S), cuenta con numerosos fundos (~60.000 ha). Este sector se encuentra dominado por plantaciones de *Eucalyptus* y *P. radiata* y fragmentos de bosque nativo del tipo Roble – Raulí – Coigue. El clima es de tipo mediterráneo de subhúmedo a húmedo con influencias oceánicas. Las precipitaciones tienen una media anual de 1200 mm un periodo de sequía estival de dos a cuatro meses. Los suelos varían entre rojo arcillosos y trumaos o derivados de cenizas volcánicas. El bosque nativo del sector tiene como principales especies *Nothofagus obliqua*, *Persea lingue*, *Aextoxicon punctatum* y otras especies tolerantes siempreverdes, además de un sotobosque formado por especies como *Aristotelia chilensis*, *Lomatia dentata*, *Lomatia hirsuta* y distintos arbustos, herbáceas y helechos (C. Navarro et al., 2014).

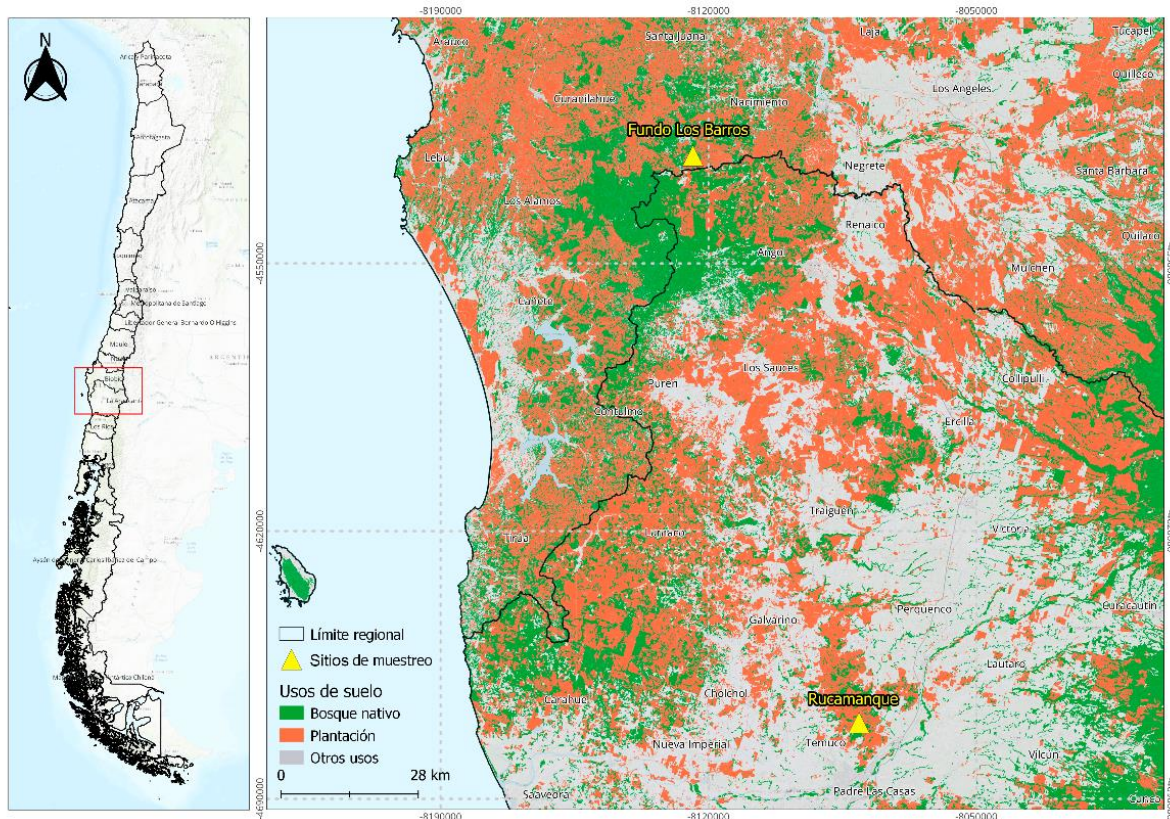


Fig. 2. Ubicación de área de estudio, incluyendo ambos sitios de muestreo: Fundo Los Barros, Región del Bío-Bío y Rucamanque, Región de La Araucanía.

8.2. Diseño de muestreo

La selección de los puntos de muestreo se realizó mediante el software de Sistemas de Información Geográfica QGIS 3.30.2 utilizando el modelador de procesos “Model Designer” y con el uso de archivos vectoriales con información territorial de unidades geomorfológicas, límites regionales y comunales, red vial y centros urbanos, proporcionadas por el Ministerio de Bienes Nacionales a través de su plataforma de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE 2023). Esta información se complementó con la base de datos del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, actualizada al 2014 para la región de La Araucanía y al 2015 para la región del Biobío; e información de uso de suelo de predios forestales proporcionada por la empresa CMPC, actualizada al 2023 para ambos sitios.

Los criterios de selección definidos para parches de bosque nativo fueron: presentar cobertura perteneciente del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe (Ro-Ra-Co), sub-tipo forestal Ro-Ra-Co, con estructura de bosque adulto, renoval y/o adulto-renoval, cobertura densa y/o semidensa, altura > 8 metros y con una superficie continua mínima de > 0.5 ha. En el caso de las plantaciones forestales, se seleccionaron parches de *Pinus radiata*, con estructura de plantación adulta, edad entre ~10-20 años y con esquemas de manejo tanto intensivo como

extensivo. Para cada sitio se seleccionaron 6 puntos de muestreo en bosque nativo y 6 puntos en plantación, de los cuales 3 correspondían a un esquema de manejo intensivo y 3 a uno extensivo.



Fig. 3. Representación del diseño de muestreo. Se establecieron transectos de 105 m tanto en bosque nativo como en plantación de *Pinus radiata*. Las figuras en verde corresponden a las parcelas en las que se evaluó composición florística (5x5 m), mientras que las figuras en café corresponden a parcelas en las que se evaluó estructura arbórea (20x25 m)

En cada punto se estableció un transecto de 105 m en bosque nativo y plantación. Este consistió en 5 parcelas de 5x5 m distanciadas por 20 m en las cuales se registró la composición florística, incluyendo la cobertura porcentual de cada una de las especies vasculares según una adaptación de la escala de Braun Blanquet (Braun-Blanquet, 1979). Además, en estas parcelas (5x5 m) se contabilizó la regeneración arbórea (diámetro a 1.3 m < 5 cm) según categoría de altura, definidas como: (1) individuos entre 0 a 0,5 m de altura, (2) >0,5 - 2 m de altura y (3) > 2 m de altura, además, se registró para cada individuo si este provenía de semilla o rebrote. En estas parcelas se registraron también variables de sitio (i.e. pendiente, exposición y altitud), variables de micrositio (i.e. % de restos leñosos, hojarasca y suelo mineral) y aquellas referentes a la cobertura de dosel y luz mediante densiómetro esférico cóncavo y fotografías hemisféricas con cámara y uso de lente ojo de pez (8mm), nivelada y orientada hacia el norte. Dentro del transecto se estableció una parcela de 20x25 m en el área más representativa de la condición (i.e. bosque nativo o plantación) en estas se registró la estructura arbórea considerando; especie, DAP (diámetro a 1.3 m), altura, posición

sociológica y sanidad (según porcentaje de follaje muerto y cualidades físicas observables) donde 1; muy bueno, 2; bueno, 3; malo y 4; muerto.

8.3. Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico R (R Development Core Team, 2018). Se llevó a cabo un análisis de normalidad utilizando el test de Shapiro-Wilk, con el propósito de determinar si las muestras de las variables bajo análisis provienen de una distribución normal, y así seleccionar los tipos de análisis adecuados a utilizar para realizar comparaciones entre zonas de bosque nativo y plantaciones. Las fotografías hemisféricas fueron analizadas con el software de imagen Gap Light Analyzer versión 2.0 (Fraser et al., 1999) el cual permitió estimar la estructura del dosel y los índices de transmisión de luz.

8.3.1. Diversidad de plantas vasculares

Se generaron comparaciones en relación a la composición florística entre bosque nativo y plantaciones con ambos esquemas de manejo a través de un análisis de disimilitud de Jaccard (Ludwig & Reynolds, 1988). Este análisis a partir de una matriz de presencia/ausencia, entrega un valor de disimilitud entre 0 y 1, siendo más cercano a 1 más disímil. Este análisis considera únicamente la presencia de especies como coincidencia entre los sitios, utilizando la siguiente formula:

$$J(A,B) = \frac{A \cap B}{A \cup B}$$

Como indicador de la diversidad de plantas se utilizó el Índice de diversidad de Shannon el cual refleja la variabilidad dentro de una comunidad en función de dos aspectos principales: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Este índice se representa mediante números positivos, comenzando desde 0 cuando solo hay una especie presente, y aumentando a medida que la diversidad de especies y la equidad en su abundancia se incrementan, sin un límite superior definido. La fórmula para el cálculo del índice de Shannon es la siguiente:

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

H = Índice de Shannon

S = Riqueza de especies

π = Abundancia relativa de especies

ln = Logaritmo natural

En la mayoría de los ecosistemas naturales, los valores del índice de Shannon generalmente oscilan entre 1,5 y 3,5, rara vez superando el umbral de 5 (Somarriba, 1999). Valores por debajo de 1,5 se consideran indicativos de una baja diversidad, mientras que aquellos en el rango de 1,6 a 3 se clasifican como diversidad media, y los valores iguales o superiores a 3,1 se interpretan como alta diversidad (Magurran, 1988).

Para identificar las especies compartidas en cada uno de los sitios se utilizaron diagramas de Venn. Para la utilización de esta función se consideraron aleatoriamente el mismo n para cada condición (i.e., bosque nativo y plantación n=15). Los diagramas de Venn permiten mostrar la agrupación de las distintas condiciones en forma de conjuntos de especies, donde las intersecciones muestran el número de especies comunes y el gradiente de color va desde la mayor a la menor cantidad de especies. Las especies se comprobaron mediante intersección de conjuntos.

8.3.2. Variables de sitio y micrositio asociadas a la composición florística

Para la representación gráfica de la composición florística de las parcelas de las distintas condiciones se utilizó el análisis NMDS (Análisis de Escalamiento Multiespacial No Paramétrico), con distancia de Bray-Curtis, la cual se calcula dividiendo la suma de las diferencias absolutas entre las abundancias relativas de las especies compartidas entre dos muestras por la suma de las abundancias relativas de todas las especies presentes en ambas muestras.

$$D_{DB} = \sum_{i=1}^R \frac{(x_{ai} - x_{bi})}{(x_{ai} + x_{bi})}$$

Este análisis multivariado permite representar cada una de las parcelas en un único punto en el plano NMDS después de reducir la multidimensionalidad de los datos florísticos.

Para comprobar la diferencia entre los sitios se aplicó una prueba de ANOSIM, la cual utiliza una matriz de disimilitud como entrada y es no paramétrica, por lo que no asume normalidad de los datos, al utilizar disimilitudes clasificadas en lugar de distancias reales, es un complemento para la ordenación NMDS. El estadístico R del test ANOSIM compara la disimilitud promedio entre grupos con la disimilitud promedio dentro de los grupos. Un valor cercano a 1 indica diferencia entre grupos, mientras que un valor cercano a 0 sugiere una distribución uniforme de rangos altos y bajos dentro y entre los grupos. Se considera un valor de p menor a 0.05 como estadísticamente significativo, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula que establece que no hay diferencias significativas entre los grupos.

Para conocer las variables de sitio y micrositio que se correlacionaron con la composición florística se utilizó la función envfit, que determinó la relación y significancia entre las variables y la ordenación. Se incluyeron las variables; edad, densidad, altitud, pendiente, exposición, % de restos leñosos, % de hojarasca, % de suelo mineral, apertura de dosel y transmisión de luz.

Para evaluar esta relación la función envfit calcula el coeficiente de determinación al cuadrado (r^2) el cual indica cuanto de la variabilidad en la disposición de las muestras en el espacio de ordenación puede ser atribuida a las variables ambientales que se están evaluando, un valor más cercano a 1 indica que las variables tienen una influencia fuerte en la disposición de las muestras en el espacio de ordenación, mientras que un valor cercano a 0 indica que las variables ambientales no explican bien la variabilidad observada. Además, calcula el valor Pr que indica si la correlación entre las variables ambientales y la ordenación es estadísticamente significativa o si podría haber ocurrido por azar. Un valor de p menor a 0.05 se consideró estadísticamente significativo.

9. RESULTADOS

En total se obtuvo resultados para 60 parcelas de 25 m² en bosque nativo y 60 parcelas de 25 m² en plantaciones de *Pinus radiata*, y para 12 parcelas de 500 m² en ambas condiciones igualmente. La prueba de Shapiro-Wilk indicó que los datos tienen una distribución no paramétrica.

Los atributos de sitio fueron similares en condiciones, pero con amplias diferencias en la altitud entre sitios (tabla 2). En cuanto a los atributos de micrositio, estos presentaron diferencias entre las condiciones, siendo el porcentaje de restos leñosos y de hojarasca más alto en plantación, mientras que el porcentaje de suelo mineral se mantuvo similar en ambas. La estructura arbórea mostró diferencias entre condiciones, la altura media y diámetro medio cuadrático, fueron mayores en plantaciones. La densidad de árboles fue mayor en bosque nativo y particularmente en Los Barros (tabla 3).

Tabla 2. Atributos de sitio y micrositio del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio. Se presentan los valores medianos basados en parcelas, se considera coeficiente de variación entre paréntesis. *Para la variable exposición se presenta la moda.

Atributos de sitio y micrositio	Los Barros		Rucamanque	
	BN (n = 30)	PL (n = 30)	BN (n = 30)	PL (n = 30)
Altitud (m.s.n.m.)	801.1 (0.04)	826.2 (0.07)	510.0 (0.3)	425.4 (0.2)

Pendiente (°)	10.0 (0.6)	8.4 (0.6)	10.2 (1.0)	13.8 (0.7)
Exposición*	SO	NO	SO	SO
Restos leñosos (%)	20.0 (0.7)	27.5 (0.7)	10.2 (0.9)	30.0 (0.5)
Suelo mineral (%)	2.0 (1.2)	2.0 (0.4)	3.0 (0.8)	2.0 (1.4)
Hojarasca (%)	90.0 (0.2)	95.0 (0.05)	80.0 (0.1)	95.0 (0.2)
Apertura (%)	10.8 (0.6)	18.4 (0.5)	12.6 (0.5)	16.3 (0.5)
Transmisión de luz total (mol/m ² /d)	18.3 (0.4)	21.9 (0.4)	17.1 (0.3)	19.0 (0.4)

Tabla 3. Estructura arbórea del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio. Se presentan los valores medios basados en parcelas. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis. DMC: Diámetro medio cuadrático.

Estructura arbórea	Los Barros		Rucamanque	
	BN (n = 12)	PL (n = 12)	BN (n = 12)	PL (n = 12)
Altura media (m)	11 (0.5)	18.6 (0.3)	13.9 (0.6)	18 (0.4)
DMC (cm)	15.9 (1.8)	23.1 (0.9)	28 (1.9)	31.2 (0.8)
Densidad (N° arb/ha)	2433.3	1353.3	723	650
Área basal (m ²)	48.4	56.7	42.6	51.6

La regeneración arbórea en términos generales fue mayor en bosque nativo, donde se registraron 25 especies nativas y 1 especie exótica. Las plantaciones tuvieron un total de 15 especies nativas y 1 exótica. En ambos casos la especie exótica correspondió a *Pinus radiata*. Sin embargo, para el sitio Rucamanque no se encontró regeneración de especies exóticas para ninguna de las condiciones. En ambas condiciones la regeneración es principalmente por medio de semillas y es mayor para la clase de altura hasta los 50 cm (tabla 4).

Tabla 4: Regeneración de especies arbóreas del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio. Se presentan los valores medios por hectárea para la regeneración basados en parcelas. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis.

Regeneración arbórea (ha)	Los Barros		Rucamanque	
	BN (n = 60)	PL (n = 60)	BN (n = 60)	PL (n = 60)
0 – 0.5 m	5266.7 (0.8)	1160 (1.8)	1853 (1.3)	520 (2.6)
>0.5- 2 m	2306.7 (0.6)	640 (1.2)	813 (1.1)	800 (1.7)
> 2 m	946.7 (1.2)	120 (4.4)	386 (1.7)	1160 (2)
Total semilla	1506.7	480	627	306.7
Total rebrote	396.7	106.7	173.3	280
Total nativas	1826.7	466.7	800	587
Total exóticas	26.7	120	0	0

En cuanto a la riqueza de especies vasculares, en bosque nativo se registró un total de 126 especies nativas y 12 exóticas. Mientras que en plantación hubo un total de 69 especies

nativas y 24 exóticas. En general la ocurrencia de especies exóticas fue baja para ambas condiciones con una mediana cercana a 2 por parcela (tabla 5).

Tabla 5: Riqueza de especies del bosque nativo (BN) en comparación con las plantaciones de pino (PL) en ambos sitios de estudio. Se presentan valores medianos basados en parcelas. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis.

Riqueza de especies	Los Barros		Rucamanque	
	BN (n = 60)	PL (n = 60)	BN (n = 60)	PL (n = 60)
Nativas	12.0 (0.3)	5.0 (0.5)	8.5 (0.4)	5.5 (0.5)
Exóticas	1.0 (0.3)	2.0 (0.7)	0	1 (0.6)
Índice de Shannon	4.1	3.5	3.5	3.3
Total	91	6	50	46

9.1. Estructura arbórea

La especie predominante en el bosque de ambos sitios de estudio fue *Nothofagus obliqua*. Los Barros presentó la mayor densidad de árboles y mayor área basal (tabla 6), en el caso de la plantación la especie *Gevuina avellana* se registró únicamente en plantaciones con manejo extensivo, las cuales presentaron la mayor densidad de árboles con 1043 árboles/ha en contraste con los 310 árboles/ha de plantaciones intensivas en las que solo estuvo presente la especie *Pinus radiata*. En cuanto a la edad el promedio en las plantaciones extensivas fue de 17.3 años, y en intensivas de 18 años.

Tabla 6: Estructura según especies en sitio Los Barros. Se presentan valores medios por hectárea basados en parcelas. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis.

Bosque nativo (n = 6)		
Especie	Densidad (N° de arb)	Área basal (m²)
<i>Nothofagus obliqua</i>	1200 (0.5)	31.2 (0.5)
<i>Nothofagus dombeyi</i>	233.3 (1.9)	11.9 (1.9)
<i>Gevuina avellana</i>	636.7 (1.1)	3.9 (1.2)
<i>Podocarpus salignus</i>	143.4 (2.2)	0.5 (2.2)
<i>Persea lingue</i>	113.3 (1.4)	0.4 (1.4)
Otros	106.7	0.6
Total	2433.4	48.5
Plantación (n = 6)		
<i>Pinus radiata</i>	1330 (0.9)	56.7 (0.3)
<i>Gevuina avellana</i>	23.3 (2.4)	0.1 (2.4)
Total	1353.3	56.8

Para el caso del sitio Rucamanque (tabla 7) tanto la densidad como el área basal fueron inferiores. En plantación extensiva se registraron 4 especies (*Lomatia dentata*, *Persea lingue*, *Nothofagus obliqua* y *Pinus radiata*) y en plantación intensiva 2 especies (*Luma apiculata* y *Pinus radiata*), ambas tuvieron una densidad similar de aprox. 320 árboles/ha. La edad

promedio de plantaciones extensivas fue de 29.7 años y en plantación intensiva de 12.3 años. En ambos sitios el área basal de plantación extensiva fue superior con un valor cercano a 34 m²/ha.

Tabla 7: Estructura según especies en sitio Rucamanque. Se presentan valores medios por hectárea basados en parcelas. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis.

Bosque nativo (n = 6)		
Especie	Densidad (N° de arb)	Área basal (m²)
<i>Nothofagus obliqua</i>	323.3 (0.6)	24.7 (0.7)
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	83.3 (1.6)	1.3 (1.6)
<i>Persea lingue</i>	83.3 (0.7)	1.7 (1.4)
<i>Aextoxicon punctatum</i>	70 (0.9)	11.4 (2.3)
<i>Laurelia sempervirens</i>	40 (1.1)	0.4 (1.1)
Otros	123.3	3.1
Total	723.2	42.6
Plantación (n = 6)		
<i>Pinus radiata</i>	616.7 (0.4)	51.4 (0.4)
<i>Persea lingue</i>	33.3 (2.2)	0.2 (2.3)
Otros	10	0.05
Total	660	51.65

9.2. Diversidad de plantas vasculares

Al comparar la composición de plantas de las distintas condiciones en ambos sitios de estudio se observó que existe una gran disimilitud entre las condiciones de bosque nativo y plantación (tanto intensiva como extensiva), entre plantación intensiva y extensiva la disimilitud es baja (tabla 8).

Tabla 8: Índice de disimilitud de Jaccard entre las distintas condiciones. BN = Bosque Nativo, PLE = Plantación extensiva, PLI = Plantación Intensiva.

Los Barros (n = 60)				Rucamanque (n = 60)		
	BN	PLE	PLI	BN	PLE	PLI
BN	0	0.9	0.9	0	0.7	0.8
PLE	0.9	0	0.2	0.7	0	0.3
PLI	0.9	0.2	0	0.8	0.3	0

El índice de diversidad de Shannon fue mayor en bosque nativo en ambos sitios de estudio, y en plantación en el caso del sitio Los Barros fue mayor en aquellas con manejo intensivo, por el contrario, en el sitio Rucamanque se obtuvo un valor mayor en plantaciones con manejo extensivo (fig. 4). Las tendencias se mantuvieron al considerar únicamente las plantas vasculares nativas.

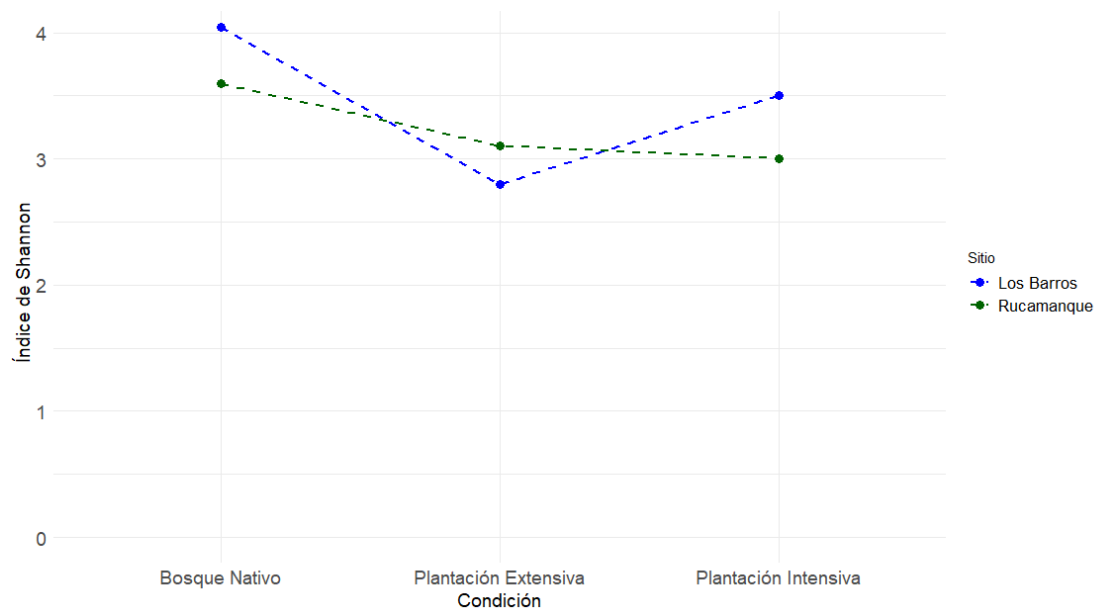


Fig. 4. Índice de diversidad de Shannon para las distintas condiciones en ambos sitios de estudio, se incluyen todas las plantas vasculares.

9.2.1. Riqueza de especies

En términos generales bosque nativo presentó la mayor riqueza de especies nativas con una mediana de 10 especies por parcela y menor riqueza de especies exóticas con una mediana cercana a 1 por parcela. De ambos esquemas de manejo en las plantaciones, el manejo intensivo mostró mayor riqueza de especies tanto nativas como exóticas con medianas cercanas a 7 y 2 respectivamente, en contraste con el manejo extensivo que presentó riqueza de especies nativas con una mediana cercana a 4 y a 1 para especies exóticas (fig. 5)

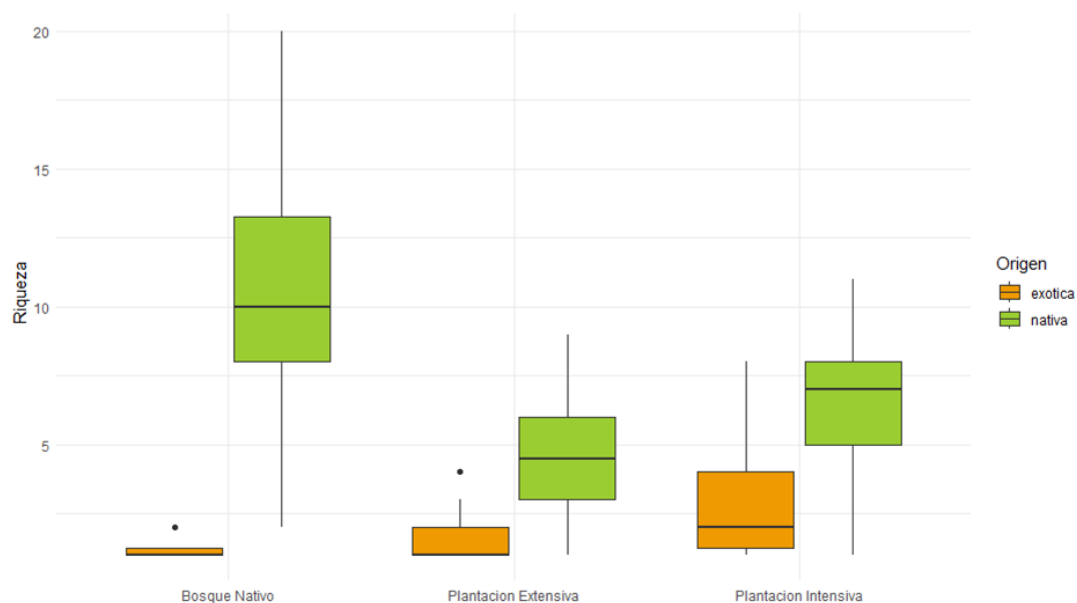


Fig 5. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición según origen de las especies.

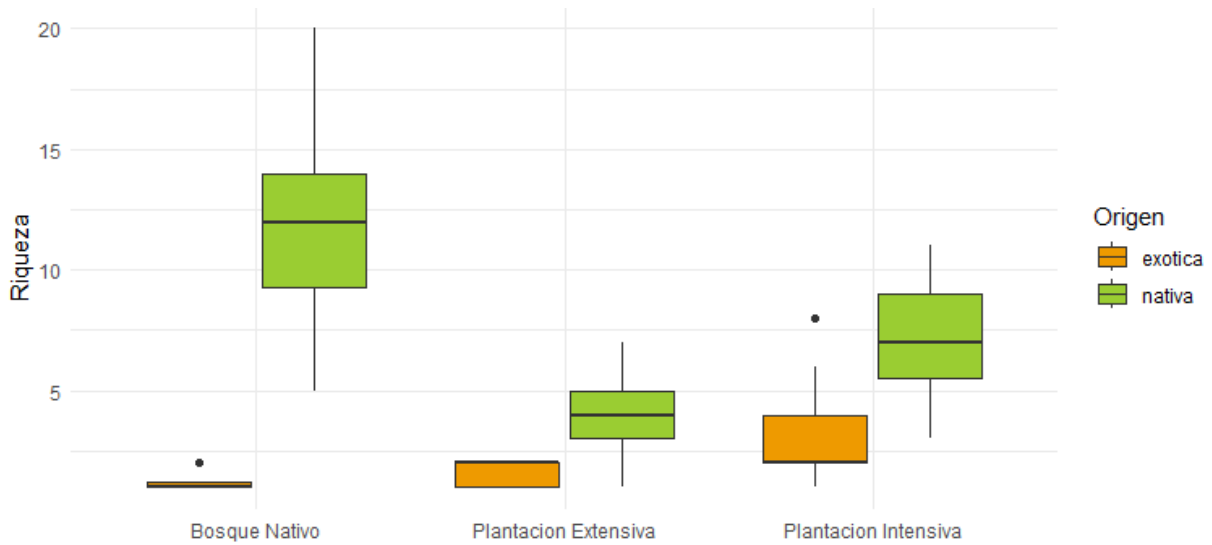


Fig 6. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición según origen de las especies en sitio Los Barros.

Para ambos sitios de estudio la tendencia en cuanto a la riqueza se mantuvo, sin embargo, en el caso de Los Barros el bosque nativo presentó mayor riqueza de nativas y ambas condiciones de manejo de las plantaciones tuvieron riquezas menores tanto para nativas como exóticas (fig. 6). Rucamanque mostró menor riqueza de especies nativas en bosque nativo y no presentó especies exóticas en esta condición. Además, mostró un aumento en la mediana de especies nativas en plantación extensiva (fig. 7).

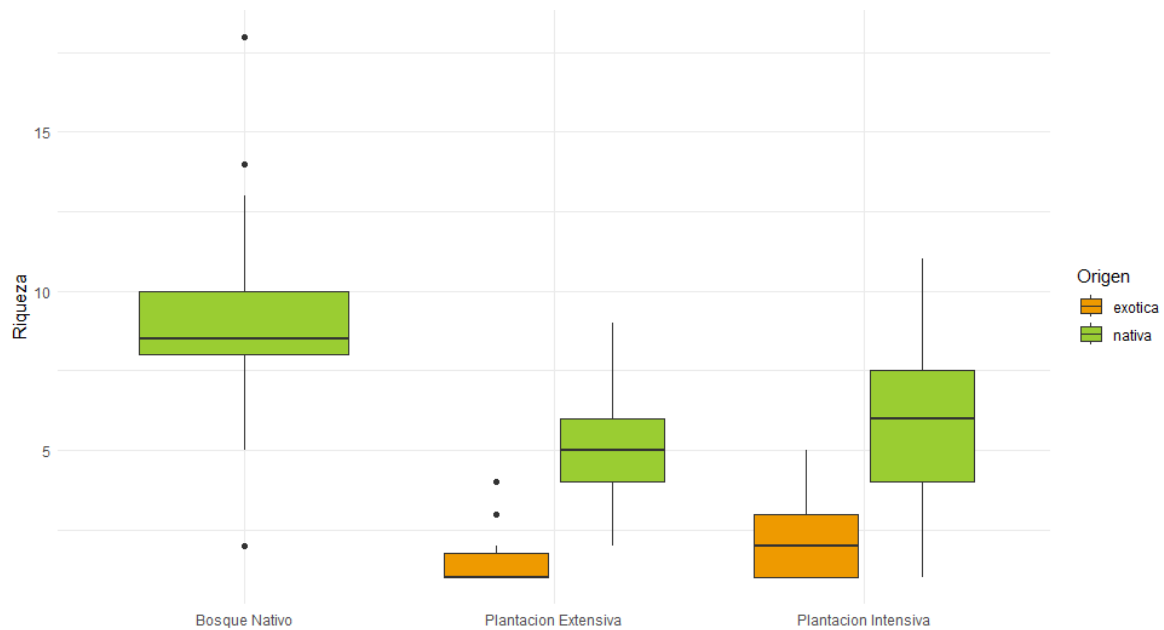


Fig 7. Diagrama de caja de comparación de riqueza de especies vasculares por condición según origen de las especies en sitio Rucamanque.

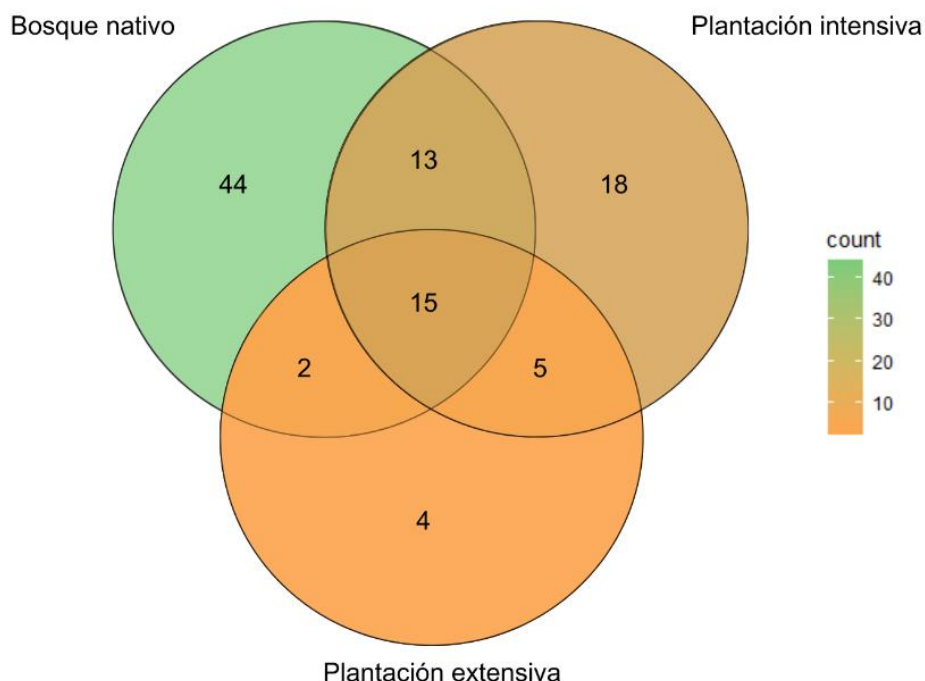


Fig 8. Diagrama de Venn de las especies compartidas por condición en sitio Los Barros. Los círculos representan el conjunto de especies según condición y las intersecciones entre círculos la cantidad de especies compartidas.

En el sitio Los Barros (fig. 8) las tres condiciones compartieron 15 especies y correspondieron a; *Osmorhiza chilensis*, *Gevuina avellana*, *Nothofagus obliqua*, *Ribes integrifolium*, *Alstroemeria presliana* subsp. *Australis*, *Berberis darwinii*, *Pinus radiata*, *Pasithea caerulea*, *Dioscorea brachybotrya*, *Rosa rubiginosa*, *Piptochaetium montevidense* sp., *Aristotelia chilensis*, *Schinus patagonicus*, *Maytenus boaria* y *Geranium core core*. Bosque nativo y Plantación intensiva compartieron un total de 28 especies mientras que Bosque nativo y Plantación extensiva un total de 17 especies.

Para el caso del sitio Rucamanque (fig. 9) las condiciones compartieron 10 especies, que correspondieron a; *Chusquea quila*, *Lapageria rosea*, *Persea lingue*, *Blechnum hastatum*, *Aristotelia chilensis*, *Cissus striata*, *Boquilla trifoliolata*, *Rhamnus diffusus*, *Aextoxicon punctatum* y *Luma apiculata*. Además, bosque nativo y plantación intensiva compartieron un total de 13 especies mientras que bosque nativo y plantación extensiva compartieron un total de 15 especies.

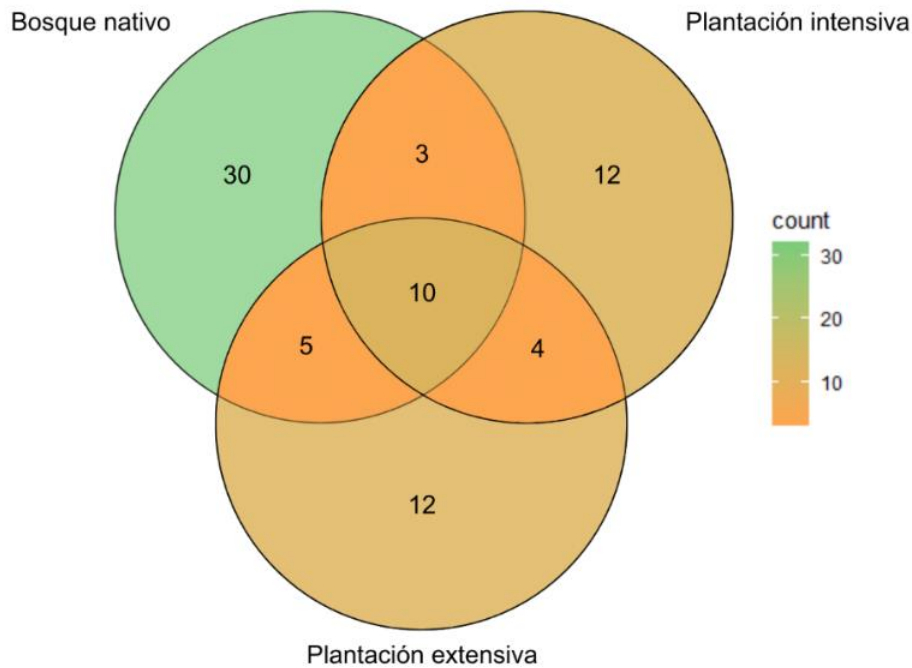


Fig. 9. Diagrama de Venn de las especies compartidas por condición en sitio Rucamanque. Los círculos representan el conjunto de especies según condición y las intersecciones entre círculos la cantidad de especies compartidas.

9.3. Análisis de las variables de sitio y micrositio

La ordenación multivariada NMDS en ambos sitios de estudio mostró que existen similitudes en la composición florística de las parcelas de una misma condición. Para el caso del sitio Los Barros las tres condiciones se diferenciaron en su composición florística con un valor de p para el test ANOSIM inferior a 0.05 en todos los casos (Anexo 1), sin embargo, las plantaciones entre sí tuvieron baja disimilitud. Las variables que mostraron un mayor ajuste con la ordenación al incluir las tres condiciones fueron la exposición y la densidad seguido del porcentaje de suelo mineral y el porcentaje de hojarasca. Al comparar plantación intensiva y plantación extensiva las variables que mostraron un mayor ajuste fueron la edad y la densidad de árboles (Fig. 10).

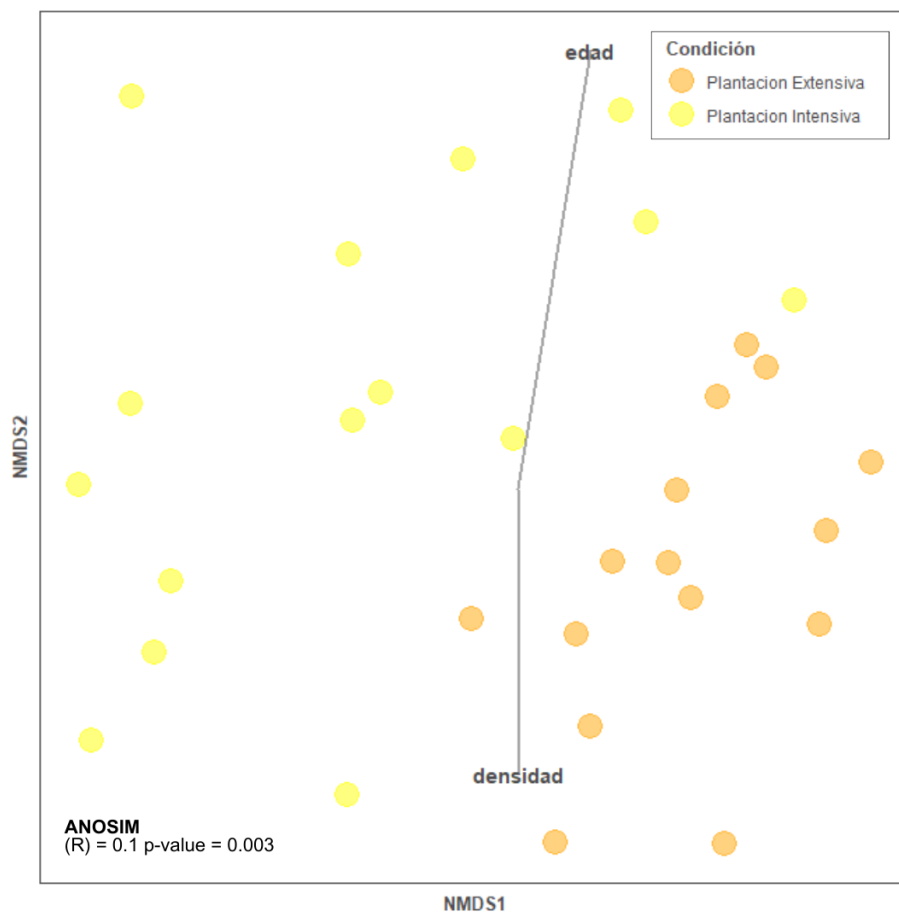


Fig. 10. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N = 15) en sitio Los Barros. La longitud de las líneas indica el nivel de ajuste de las variables. Los valores de ANOSIM indican la diferencia entre las condiciones PLE = Plantación extensiva, PLI = Plantación Intensiva.

Por otra parte, en el sitio Rucamanque se observó una diferencia en la composición florística del Bosque Nativo respecto a las plantaciones con los distintos esquemas de manejo. Las variables que mostraron mayor ajuste con la ordenación al incluir las tres condiciones fueron la exposición, edad y pendiente. Otras variables que también mostraron un grado de ajuste fueron la altitud, porcentaje de restos leñosos y suelo mineral, apertura del dosel y transmisión de luz total (Anexo 2).

Al comparar plantación intensiva y plantación extensiva la disimilitud fue muy baja y no se observó una diferencia significativa entre estas con un valor de p para el test ANOSIM superior a 0.05. Las variables que mostraron un mayor ajuste fueron la edad, pendiente y altitud. (Fig. 11).

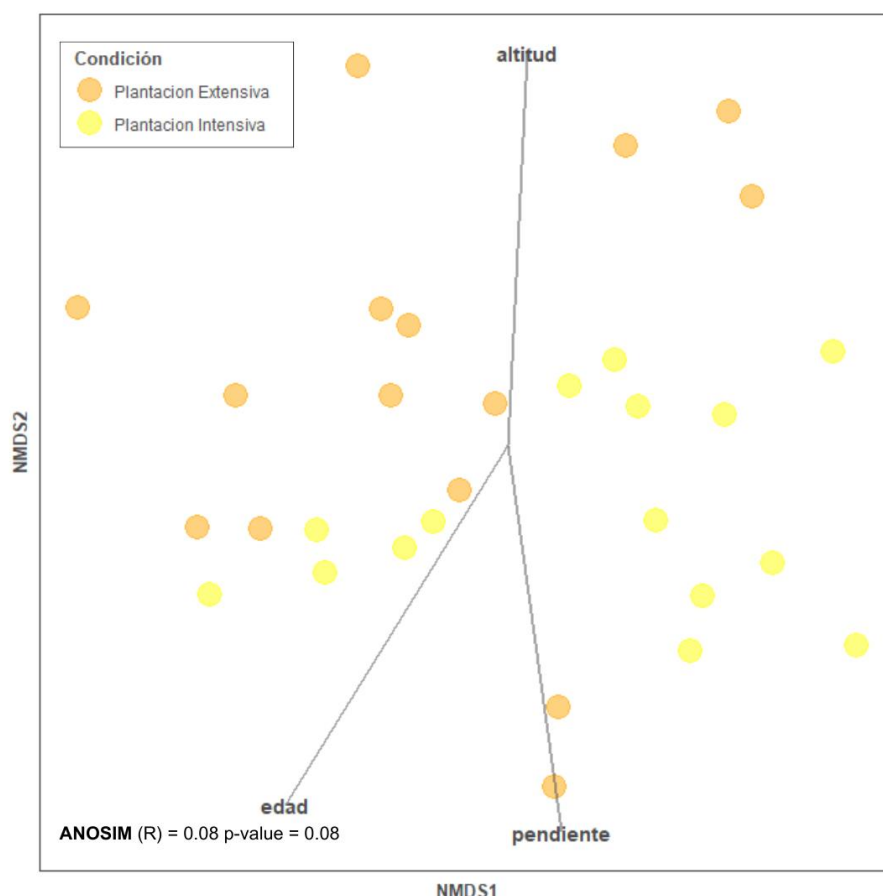


Fig. 11. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N = 15) en sitio Rucamanque. La longitud de las líneas indica el nivel de ajuste de las variables. Los valores de ANOSIM indican la diferencia entre las condiciones PLE = Plantación extensiva, PLI = Plantación Intensiva.

9.4. Análisis de la regeneración de especies arbóreas

Para el análisis de la regeneración de especies arbóreas se obtuvo que el sitio Los Barros contó con una riqueza mayor, con 21 especies en bosque nativo, 3 en plantación extensiva y 9 en plantación intensiva, mientras que Rucamanque registró una riqueza de 12 especies en bosque nativo, 4 en plantación extensiva y 6 en plantación intensiva.

En Los Barros (fig. 11) la abundancia en todas las categorías de altura fue mayor en bosque nativo, donde destacó la categoría 1 con más de 5000 individuos por hectárea. En la categoría 1 la especie con más regeneración en todas las condiciones fue *Nothofagus obliqua*. En cuanto a las plantaciones exhibió mayor regeneración plantación intensiva, con una predominancia de pino en las categorías de mayor altura, especie que no se registró en plantaciones extensivas (tabla 9). En plantación extensiva se registraron 2 especies intolerantes y una semitolerante, mientras que en intensiva se registraron 3 especies

intolerantes, 4 especies semitolerantes y 1 especie tolerante (Anexo 3). En cuanto al origen en plantación extensiva los individuos son en igual proporción provenientes de semilla y rebrote vegetativo, mientras que en plantación intensiva estos provienen casi en su totalidad de semillas.

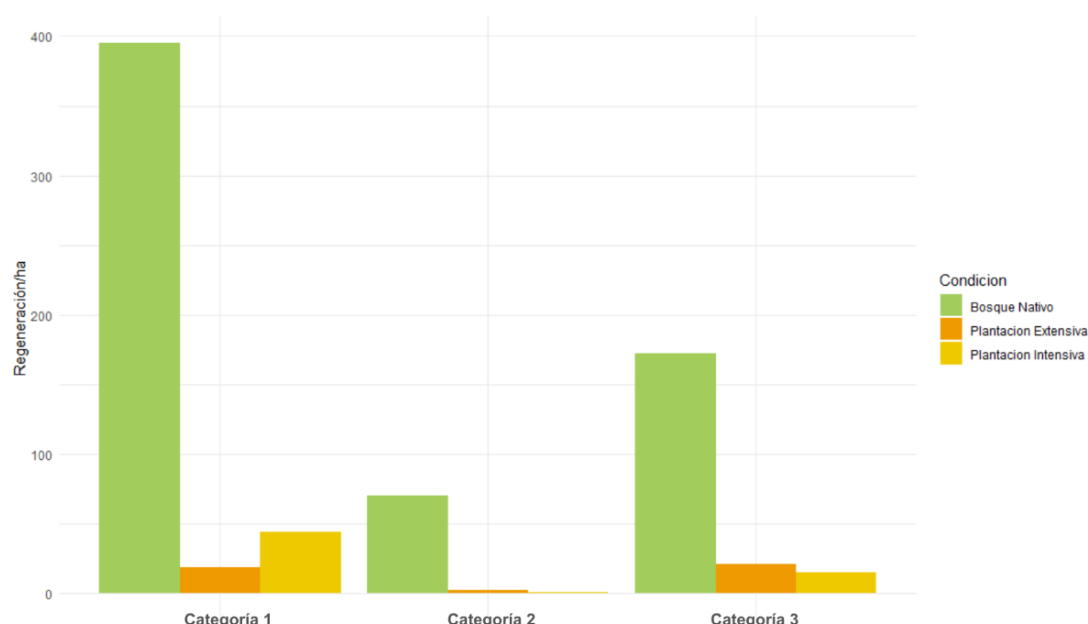


Fig. 12. Regeneración de especies nativas por categoría de altura de las distintas condiciones en sitio Los Barros. Categoría 1 = 0 – 0.5 m, Categoría 2 = >0,5 - 2 m, Categoría 3 = > 2 m. Se muestran valores por hectárea.

Tabla 9: Regeneración por especies en sitio Los Barros en las distintas condiciones. Se presentan valores medios por hectárea. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis. Categoría 1 = 0 – 0.5 m, Categoría 2 = >0,5 - 2 m, Categoría 3 = >2 m.

Especies	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Bosque Nativo (n = 30)			
<i>Nothofagus obliqua</i>	1866.7 (1.8)	280 (2)	80 (5.5)
<i>Persea lingue</i>	613.3 (1.5)	213.3 (2.1)	93.3 (2.2)
<i>Podocarpus salignus</i>	560 (2)	93.3 (2.2)	240 (3.8)
<i>Gevuina avellana</i>	466.7 (1)	493.3 (1.6)	240 (1.8)
<i>Lomatia hirsuta</i>	333.3 (2.1)	600 (2.1)	133.3 (2.3)
Otros (16)	1426.7	626.7	160
Total	5266.7	2306.6	946.6
Plantación Extensiva (n = 15)			
<i>Nothofagus obliqua</i>	640 (1.5)	1040 (1.6)	106.3 (3.9)
<i>Maytenus boaria</i>	266.6 (3.9)	0	0
Otros (1)	106.3	0	0
Total	1012.9	1040	106.3
Plantación Intensiva (n = 15)			
<i>Pinus radiata</i>	1280 (2)	640 (1.4)	320 (3.9)
<i>Nothofagus obliqua</i>	1600 (3.5)	320 (3.2)	0
<i>Aristotelia chilensis</i>	266.6 (2.4)	266.6 (2.7)	0
Otros (6)	480	213.4	0
Total	3626.6	1440	320

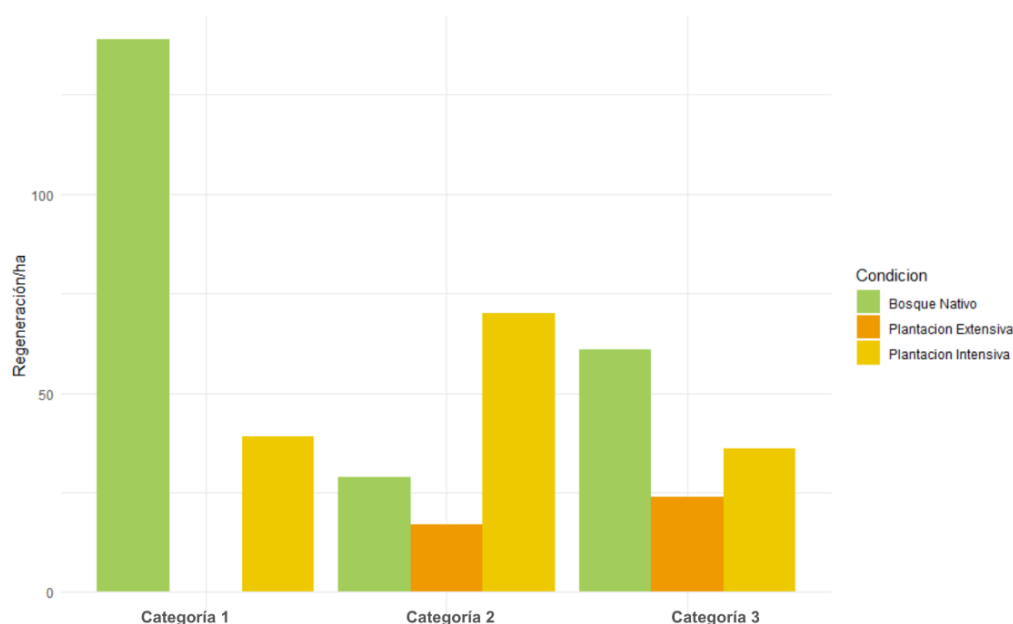


Fig. 13. Regeneración de especies nativas por categoría de altura de las distintas condiciones en sitio Rucamanque. Categoría 1 = 0 – 0.5 m, Categoría 2 = >0,5 - 2 m, Categoría 3 = > 2 m. Se muestran valores por hectárea.

Rucamanque presentó en términos generales menor regeneración (fig. 12). Destacó la abundancia de regeneración de la plantación intensiva en las categorías de mayor altura, donde fue ampliamente superior al bosque nativo específicamente en individuos mayores a 2 metros. En bosque nativo la especie con mayor regeneración fue *Nothofagus obliqua*, pero su ocurrencia fue únicamente en la categoría 1 de altura, en las categorías siguientes *Eucryphia cordifolia* mostró mayor regeneración. *Aristotelia chilensis* fue la especie predominante en plantación (tabla 10). En plantación extensiva se registraron 2 especies intolerantes y 2 especies tolerantes, mientras que en intensiva se registró 1 especie intolerante, 3 especies semitolerantes y 2 especies tolerantes (Anexo 4). En cuanto al origen tanto en plantación extensiva como intensiva la procedencia de los individuos fue en igual proporción de semilla y rebrote vegetativo.

Tabla 10: Regeneración por especies en sitio Rucamanque en las distintas condiciones. Se presentan valores medios por hectárea. Se considera coeficiente de variación entre paréntesis. Categoría 1 = 0 – 0.5 m, Categoría 2 = >0,5 - 2 m, Categoría 3 = > 2 m.

Especie	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Bosque Nativo (n = 30)			
<i>Nothofagus obliqua</i>	1493.3 (2)	0	0
<i>Aextoxicon punctatum</i>	146.7 (2.5)	146.7 (2.5)	13.3 (5.5)
<i>Eucryphia cordifolia</i>	66.7 (4.5)	266.7 (2.3)	80 (4)
<i>Aristotelia chilensis</i>	13.3 (5.6)	106.7 (5.5)	0
<i>Persea lingue</i>	40 (4)	66.7 (2.8)	0
Otros (7)	93.3	226.7	293.3
Total	1853.3	813.5	386.6

Plantación Extensiva (n = 15)			
<i>Aristotelia chilensis</i>	0	853.4 (1.1)	693.4 (2.1)
<i>Persea lingue</i>	0	213.4 (2.2)	213.4 (2.6)
Otros (2)	0	213.4	0
Total	0	1280.2	906.8
Plantación Intensiva (n = 15)			
<i>Aristotelia chilensis</i>	853.4 (2.5)	586.6 (2.3)	3306.6 (1.9)
<i>Persea lingue</i>	800 (3.9)	586.6 (2.6)	53.4 (3.9)
<i>Luma apiculata</i>	373.4 (3.3)	586.6 (2.2)	266.6 (3.1)
Otros (3)	53.4	160	106.6
Total	2080.2	1919.8	3733.2

10. DISCUSIÓN

10.1. Composición florística y diversidad de plantas vasculares

Al comparar el bosque nativo y las plantaciones de *P. radiata* intensivas y extensivas se observó que hubo algunas diferencias entre los sitios de estudio. En Los Barros cuando se consideraron únicamente las especies ambas plantaciones mantuvieron un nivel de disimilitud igual y muy alto con el bosque nativo, sin embargo, cuando se estimó la diversidad para cada condición, las plantaciones intensivas mostraron una diversidad más similar a la del bosque nativo. Mientras en Rucamanque las plantaciones extensivas mostraron siempre mayor similitud al bosque nativo.

En cuanto a la riqueza de especies, la tendencia se mantuvo hacia mayores riquezas de especies nativas en plantaciones intensivas principalmente en Los Barros. Esto se reflejó en el número de especies compartidas en los sitios, donde en Los Barros fue más alto, especialmente entre el bosque nativo y la plantación intensiva, a diferencia de Rucamanque donde se compartieron menos especies.

Al evaluar la composición florística considerando la similitud existente dentro de las condiciones y entre las condiciones se obtuvo que en ambos sitios las plantaciones con un manejo extensivo fueron más similares al bosque nativo especialmente en el sitio Rucamanque, donde además la diferencia encontrada entre ambas plantaciones no fue estadísticamente significativa. Aun así, en los dos sitios de estudio, ambos manejos mantuvieron niveles de disimilitud de moderados a altos con el bosque nativo.

Estas diferencias exhiben que las plantaciones son capaces de mantener altas diversidades de plantas vasculares, pero retienen una comunidad vegetal distinta a la de un bosque nativo. Otros estudios han demostrado resultados similares destacando que la composición florística

bajo el sotobosque de plantaciones es complementaria a la del bosque nativo (Calviño-Cancela et al., 2012; Heinrichs et al., 2018; Kremer et al., 2022)

10.2. Variables asociadas a la composición florística

En términos generales las variables de sitio mostraron no ser en gran manera explicativas de la composición florística en las plantaciones como si fueron para el bosque nativo. Sin embargo, en Rucamanque, la pendiente y la altitud presentaron un alto porcentaje de ajuste, lo que puede deberse a que en muchos casos las plantaciones que son consideradas como extensivas en este sitio estaban asociadas a un difícil acceso por su lejanía en altitud o por sus pendientes muy pronunciadas.

En cuanto a variables de estructura del rodal, la edad de las plantaciones fue explicativa para las diferencias en la diversidad de ambos sitios. Los Barros tuvo edades más óptimas para alcanzar los máximos de diversidad, mientras que en Rucamanque las plantaciones intensivas eran muy jóvenes, y las plantaciones extensivas muy longevas. Otros estudios han demostrado que la diversidad del sotobosque bajo plantaciones aumenta hasta cierta edad, que puede variar según la calidad del sitio y puede ir hasta los 20 años (Butler et al., 2008; Zhang et al., 2016).

Para la densidad arbórea los resultados mostraron que únicamente en Los Barros se aplicaron esquemas de manejo distintos en las plantaciones, donde en extensivas no se aplicó raleo por lo que la densidad fue muy alta. Esto pudo generar condiciones de sitio menos favorables y explicar la diversidad en esta condición, que según el índice de Shannon es la única que puede considerarse como media, a diferencia de las demás condiciones evaluadas en las que el índice fue de alto a muy alto. Ahmad et al. (2018) propone que conocer la densidad arbórea óptima es crucial mantener una mayor diversidad de plantas en el sotobosque.

10.1. Regeneración de especies nativas

En el análisis de la regeneración se observó que en las plantaciones disminuyó la riqueza de especies en plantaciones respecto al bosque nativo. La mayor riqueza de especies en plantaciones fue en Los Barros en plantaciones con manejo intensivo, además en esta condición la regeneración fue mayormente proveniente de semillas, lo que indica una alta influencia de los parches de bosque nativo cercanos, los cuales presentaron una riqueza de especies muy alta.

En Rucamanque la regeneración en las plantaciones fue igualmente proveniente de semillas y rebrotes vegetativos, en esto pudo influir la cantidad de parches de bosque nativo que en este sitio fue inferior. Además, se debe considerar que la historia de uso del suelo también puede ser una variable de influencia en este sitio.

En ambos sitios se mantuvo la tendencia a una mayor abundancia en plantaciones con manejo intensivo y se presentaron especies de las distintas etapas sucesionales. En general las especies regenerando no tuvieron preferencias por la densidad de la plantación, contrario a lo que se ha señalado en la literatura donde se indica que a mayor densidad aumenta la regeneración de especies tolerantes (Comita & Hubbell, 2009).

La mayor abundancia de regeneración registrada en plantaciones fue en Rucamanque en plantaciones con manejo intensivo. La especie *Aristotelia chilensis*, registró la mayor cantidad lo cual puede deberse a su dinámica regenerativa ya que al ser intolerante a la sombra se adapta mejor a condiciones más abiertas.

Otras especies como *Persea lingue*, *Gevuina avellana* y *Lomatia hirsuta*, las cuales tienen especial interés por su potencial maderero (Hall & Witte, 1998) también presentaron mayor regeneración en plantaciones intensivas, lo cual puede deberse a la mayor disponibilidad de recursos. Sin embargo, es necesario evaluar si las plantaciones proporcionan condiciones para mantener la calidad de la madera de estas especies.

11. CONCLUSIÓN

La composición florística de las plantaciones con ambos esquemas de manejo fue similar. Pese a que plantaciones con manejo extensivo tuvieron una disimilitud menor con el bosque nativo, con los resultados obtenidos no se puede establecer con certeza qué tipo de manejo en las plantaciones logra una composición florística más similar a la del bosque nativo cercano. Teniendo en cuenta esto, la hipótesis planteada en un inicio se rechaza parcialmente.

Este estudio evidencia que si bien existen diferencias en la composición florística del bosque nativo y las plantaciones de *Pinus radiata* estas retienen niveles importantes de diversidad de especies nativas, por lo que deben ser consideradas en planes de reconversión. Para optimizar la mantención de la biodiversidad y formular planes de reconversión eficientes se pueden considerar las siguientes recomendaciones extraídas del análisis: (1) Mantener los parches de bosque nativo en sitios habilitados para plantaciones. Estos parches mostraron continuar siendo muy resistentes y una fuente de semillas que promueve la regeneración de especies. (2) Establecer una edad y densidad arbórea óptima para las plantaciones dependiendo del sitio. Conocer el rango de edad y densidad en el que las plantaciones alcanzarán mayores niveles de retención de especies nativas puede ser clave para comenzar las iniciativas de reconversión. (3) Aprovechar y promover la regeneración de especies de interés maderero.

Adicionalmente a futuro deben considerarse estudios que aborden otras perspectivas que amplíen los conocimientos en cuanto a variables de sitio y micrositio como análisis de suelo y análisis completos de la radiación incidente. Además, deben evaluarse los límites económicos de este enfoque, analizando la calidad maderera de las especies nativas en plantaciones y el potencial real de reconversión pasiva.

Cabe destacar que incluso cuando el objetivo final de los propietarios no sea la reconversión a bosque nativo es importante considerar medidas para aumentar la diversidad en plantaciones de *P. radiata*, ya que esto aumentará la provisión de servicios ecosistémicos.

12. CUMPLIMIENTO DEL PERFIL PROFESIONAL

12.1. Relación con el perfil del titulado

El presente proyecto de investigación aporta al cumplimiento del perfil del titulado en Ingeniería en Recursos Naturales ya que contribuye a la comprensión de cómo el uso de los recursos vegetaciones influye en la conservación de la biodiversidad local. Además, al evaluar cómo diferentes factores ambientales afectan la diversidad de especies vegetales aporta al desarrollo de estrategias de gestión más efectivas y sostenibles.

Una cualidad destacada del Ingeniero en Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera es su fuerte compromiso con la realidad local y su respeto hacia la diversidad cultural, por esto es importante resaltar que durante este trabajo fue considerada la necesidad de mantener la biodiversidad como parte de los valores del pueblo Mapuche.

12.2. Cumplimiento de las competencias profesionales

Considerando lo expuesto anteriormente, las competencias profesionales aplicadas en el desarrollo del proyecto corresponden a:

- a) Resolver problemas relacionados con el uso de los recursos suelo, agua, fauna y vegetación considerando las condiciones ambientales y utilizando de manera ética y responsable los principios de la sustentabilidad, la tolerancia y el respeto por la diversidad, así como el uso adecuado y responsable de instrumentos, información, metodologías y herramientas tecnológicas pertinentes al manejo sustentable y sostenible de los recursos naturales y de las condiciones ambientales con el fin de mantenerlos y/o mejorarlos y a la vez satisfacer las demandas del medio.
- b) Desarrollar, ya sea individual o en conjunto con otras disciplinas, proyectos de investigación y desarrollo de carácter descriptivo y experimental para generar emprendimientos y conocimientos asociados con la sustentabilidad y sostenibilidad de los recursos naturales involucrados.

12.3. Recomendaciones

Se sugiere profundizar en análisis referentes a variables ambientales, ya que con esto pueden obtenerse resultados más robustos cuando se busca comparar condiciones en sitios que pueden tener grandes diferencias.

13. AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi familia y demás seres queridos. Su amor, apoyo y comprensión fueron indispensables a lo largo de esta carrera universitaria.

Respecto a este trabajo final,

A mi profesor guía, Dr. Rodrigo Vargas, por creer en mí y por su orientación durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mis compañeros que colaboraron en la campaña de terreno y a todo el equipo de ECOBOS, su disposición y su compromiso hicieron posible alcanzar cada uno de los objetivos.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, B., Wang, Y., Hao, J., Liu, Y., Bohnett, E., & Zhang, K. (2018). Optimizing stand structure for trade-offs between overstory timber production and understory plant diversity: A case-study of a larch plantation in northwest China. *Land Degradation & Development*, 29, 2998-3008.
- Arroyo, M. T. K., Marquet, P. A., Marticorena, C., Cavieres, L. A., Squeo, F. A., Simonetti Zambelli, J. A., Rozzi, R., & Massardo, F. (2006). *El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. Diversidad de ecosistemas, ecosistemas terrestres*.
- Ashfaq, A., Akhtar, K., & Dong, D. (2019). *Response of understory vegetation, tree regeneration, and soil quality to manipulated stand density in a Pinus massoniana plantation*.
- Bannister, J. R., Donoso, P. J., & Mujica, R. (2016). La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 229-235.
- Baral, H., Guariguata, M., & Kenaan, R. (2016). *A proposed framework for assessing ecosystem goods and services from planted forests*.
- BCN. (2010). *Biblioteca del Congreso Nacional | SIIT | Clima y vegetación Región del Bío Bío*. Consultado el 23 de enero de 2024. Disponible en <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>
- Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., & García, T. (2009). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de Leucaena sp., en Codazzi, Cesar. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5-11.
- Bremer, L. L., & Farley, K. A. (2010). Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity and Conservation*, 19(14), 3893-3915.

- Brockerhoff, E. G., Ecroyd, C. E., Leckie, A. C., & Kimberley, M. O. (2003). Diversity and succession of adventive and indigenous vascular understorey plants in *Pinus radiata* plantation forests in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 185(3), 307-319.
- Brockerhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5), 925-951.
- Butler, R., Montagnini, F., & Arroyo, P. (2008). Woody understory plant diversity in pure and mixed native tree plantations at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 255, 2251-2263.
- Calviño-Cancela, M., Rubido-Bará, M., & Etten, E. (2012). Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 270, 153-162.
- Cao, S., Chen, L., Shankman, D., Wang, C., Wang, X., & Zhang, H. (2011). Excessive reliance on afforestation in China's arid and semi-arid regions: Lessons in ecological restoration. *Earth-Science Reviews*, 104(4), 240-245.
- Cardozo, S., Tálamo, A., & Mohr, F. (2011). Composición, diversidad y estructura del ensamble de plantas leñosas en dos paleocauces con diferente intervención antrópica del Chaco semiárido, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 279-286.
- Comita, L., & Hubbell, S. (2009). Local neighborhood and species' shade tolerance influence survival in a diverse seedling bank. *Ecology*, 90 2, 328-334.
- CONAF. (2021). Plantaciones forestales. Consultado el 24 de septiembre de 2023.
Disponible en <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/>
- Corvalán, C., Hales, S., McMichael, A. J., Millennium Ecosystem Assessment (Program), & World Health Organization (Eds.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Health synthesis*. World Health Organization.
- Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108-1111.

- de Toledo, J. J., Magnusson, W. E., Castilho, C. V., & Nascimento, H. E. M. (2011). How much variation in tree mortality is predicted by soil and topography in Central Amazonia? *Forest Ecology and Management*, 262(3), 331-338.
- di Castri, F., & Hajek, E. R. (1976). *Bioclimatología de Chile*.
- Estades, C., & Escobar, M. (2005). Los ecosistemas de las plantaciones de pino de la Cordillera de la Costa (pp. 600-616).
- Fraser, G., Canham, C., & Lertzman, K. (1999). *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation*.
- Gale, N. (1997). Modes of tree death in four tropical forests. *PhD thesis, Aarhus University, Denmark*.
- García, V., Simonetti, J., & Becerra, P. (2016). Lluvia de semillas, depredación de semillas y germinación de especies nativas en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile centro-sur: Efecto de la distancia a bosque nativo y presencia de sotobosque. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 359-367.
- Hall, M., & Witte, J. (1998). *Maderas del Sur de Chile*. IER Ediciones. Primera edición. Santiago, Chile. 92p.
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, Md. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34, 100527.
- Heinrichs, S., Pauchard, A., & Schall, P. (2018). Native Plant Diversity and Composition Across a *Pinus radiata* D.Don Plantation Landscape in South-Central Chile—The Impact of Plantation Age, Logging Roads and Alien Species. *Forests*, 9(9), Article 9.
- Hueveldop, J., Pardo, J., Quirós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología Tropical*. EUNED.
- Humphrey, J. W., Ferris, R., Jukes, M. R., & Peace, A. J. (2002). The potential contribution of conifer plantations to the UK Biodiversity Action Plan. *Botanical Journal of Scotland*, 54(1), 49-62.

- Islas Madrid, G. E., Rodríguez Trejo, D. A., & Martínez Hernández, P. A. (2013). Diversidad del sotobosque y radiación solar en un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. Con quema prescrita. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(15), 25-40.
- J. Geldenhuys, C. (1997). Native forest regeneration in pine and eucalypt plantations in Northern Province, South Africa. *Forest Ecology and Management*, 99(1), 101-115.
- Kremer, K., Promis, Á., & Bauhus, J. (2022). Natural Advance Regeneration of Native Tree Species in *Pinus radiata* Plantations of South-Central Chile Suggests Potential for a Passive Restoration Approach. *Ecosystems*, 25(5), 1096-1116.
- Laclau, P., Pozo, L. M., Huerta, G., Andenmatten, E., & Letourneau, F. (2002). Rentabilidad de la forestación con pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws) en el noroeste de la Patagonia, Argentina. *Bosque*, 23(1), 21-35.
- Laughlin, D. C., Moore, M. M., & Fulé, P. Z. (2011). A century of increasing pine density and associated shifts in understory plant strategies. *Ecology*, 92(3), 556-561.
- López Varela, S., & Muñoz, K. (2019). El territorio como recurso para la revalorización del paisaje cultural Mapuche. Comuna de Arauco, VIII Región del Bío-Bío, Chile. AUS,
- Ludwig, J., & Reynolds, J. (1988). *Statistical ecology: a primer on methods and computing*.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer Netherlands.
- McFadden, T. N., & Dirzo, R. (2018). Opening the silvicultural toolbox: A new framework for conserving biodiversity in Chilean timber plantations. *Forest Ecology and Management*, 425, 75-84.
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Pincheira, F., & Lara, A. (2015). Different times, same story: Native forest loss and landscape homogenization in three physiographical areas of south-central of Chile. *Applied Geography*, 60, 20-28.
- Mitchell, J. E., & Popovich, S. J. (1997). Effectiveness of basal area for estimating canopy cover of ponderosa pine. *Forest Ecology and Management*, 95(1), 45-51.
- Mittermeir, R., Myers, N., & Robles Gil, P. (2000). Hotspots. Earth's Biologically Richest and Most Threatened Ecosystems. *Revista de Biología Tropical*, 48(4), 1021-1024.

- Monje-Hernández, Y. (2020). Industria Forestal en el Sur de Chile. Transformaciones en comunidades campesinas de la Región de Los Ríos. (1985-2010). *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 38, 313-336.
- Moretti, A. P., Olguin, F. Y., Pinazo, M. A., Gortari, F., Bahima, J. V., & Graciano, C. (2019). Supervivencia y crecimiento de un árbol nativo maderable bajo diferentes coberturas de dosel en el Bosque Atlántico, Misiones, Argentina. *Ecología Austral*, 29(1), Article
- Myers, N., Mittermeier, R. A., da Fonseca, G. A. B., Kent, J., & Mittermeier, C. (2000). *Biodiversity hotspots for conservation priorities* | *Nature*.
- Navarro, C., Hauenstein, E., Pinares, J., & Esse, C. (2014). *Guía de reconocimiento de estaciones forestales en la Región de La Araucanía*. Informe. Proyecto Innova 11BPC - 10164. Temuco, Chile. 92p.
- Navarro, R. M., & Henríquez, N. C. (2005). *¿Desarrollo sostenible o eco-etnocidio?*
- Paillet, Y., Berges, L., Hjalten, J-, Odor, P., & Avon, C. (2012). *Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe*.
- Paquette, A., & Messier, C. (2010). The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(1), 27-34.
- Paulsen, A. & Camus, P. (2006). Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile. 1541-2005. *Revista de geografía Norte Grande*, 36, 103-105.
- Phillips, O., Hall, P., Gentry, R., & Vásquez, A. (1994). *Dynamics and species richness of tropical rain forests*. | *PNAS*. <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.91.7.2805>
- Promis, Á. (2020). Plantaciones nativas o exóticas: Reflexiones sobre los impactos ambientales en Chile. *Ecología Austral*, 30(2).
- Salas-Eljatib, C., Donoso, P., Vargas-Gaete, R., Arriagada, C., Pedraza, R., & Soto, D. (2016). The Forest Sector in Chile: An Overview and Current Challenges. *Journal of Forestry*, 114, 562-571.

- Sánchez Medrano, F. Z. (2018). *Distribución de especies de plantas nativas y exóticas al lado de caminos a lo largo de un gradiente altitudinal en el noreste de México*. [Masters, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/16044/>
- Smith-Ramírez, C., González, M. E., Echeverría, C., & Lara, A. (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.
- Sommariba, E. (1999). *Diversidad Shannon*.
- Tamura, A., & Yamane, M. (2017). Response of understory vegetation over 10 years after thinning in an old-growth cedar and cypress plantation overgrazed by sika deer in eastern Japan. *Forest Ecosystems*, 4(1), 1.
- Villagran, C., & Hinojosa, L. F. (1997). *Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico*.
- Werner, H. G., & Téllez, F. R. (2016). La potencialidad de nuevas plantaciones forestales en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 22(1), Article 1.
- Wilson, S. J., Schelhas, J., Grau, R., Nanni, A. S., & Sloan, S. (2017). Forest ecosystem-service transitions: The ecological dimensions of the forest transition. *Ecology and Society*, 22(4).
- Wolodarsky-Franke, A., & Díaz, S. (2011). *Cordillera de Nahuelbuta: Reserva mundial de biodiversidad*.
- Yunxiang, Z., Tairui, L., Jingping, G., & Zhijie, T. (2021). *Changes in the understory diversity of secondary Pinus tabulaeformis forests are the result of stand density and soil properties*.
- Zhang, J., Young, D., Oliver, W., & Fiddler, G. (2016). Effect of overstorey trees on understorey vegetation in California (USA) ponderosa pine plantations. *Forestry*, 89, 91-99.

15. ANEXOS

Anexo 1

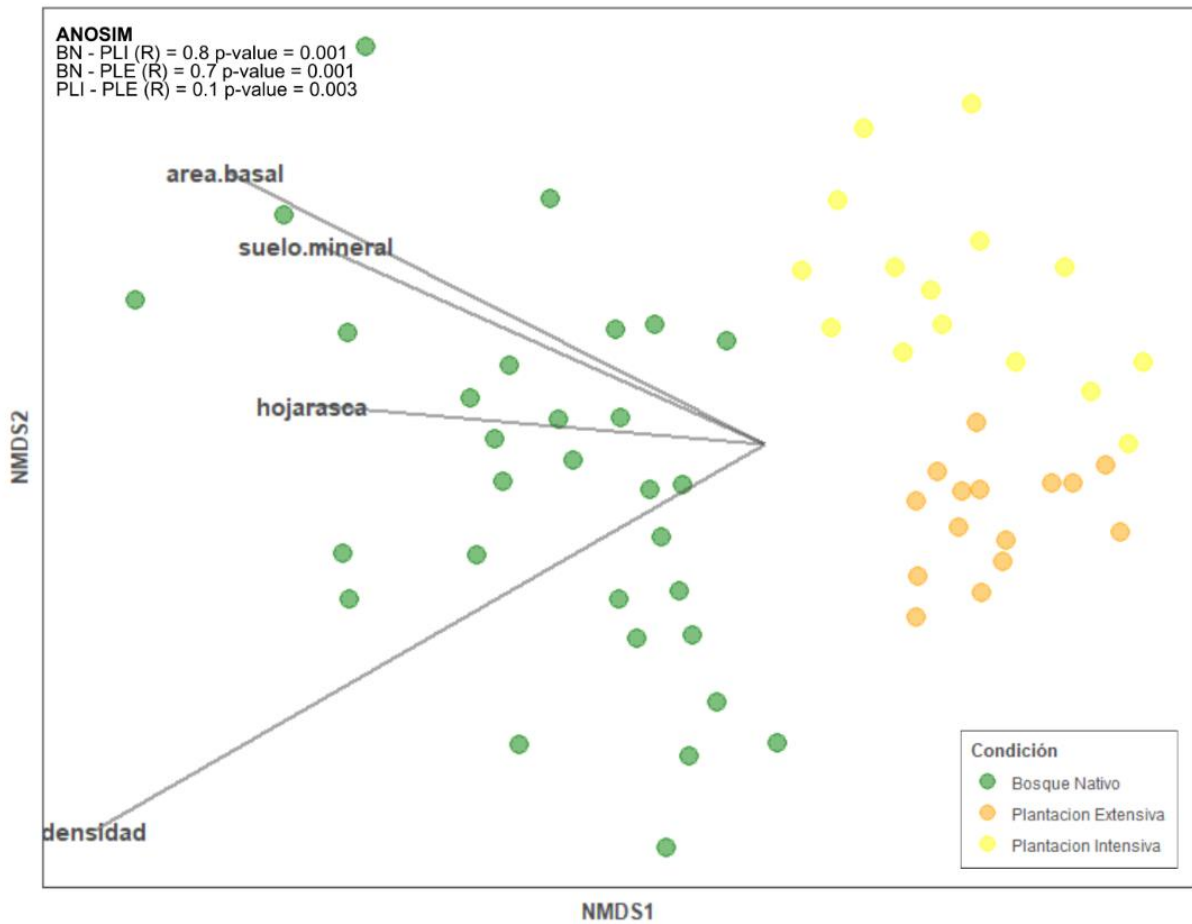


Fig. 14. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Bosque Nativo (N = 30), Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N = 15) en sitio Los Barros. La longitud de las líneas indica el nivel de ajuste de las variables. Los valores de ANOSIM indican la diferencia entre las condiciones BN = Bosque Nativo, PLE = Plantación extensiva, PLI = Plantación Intensiva.

Anexo 2

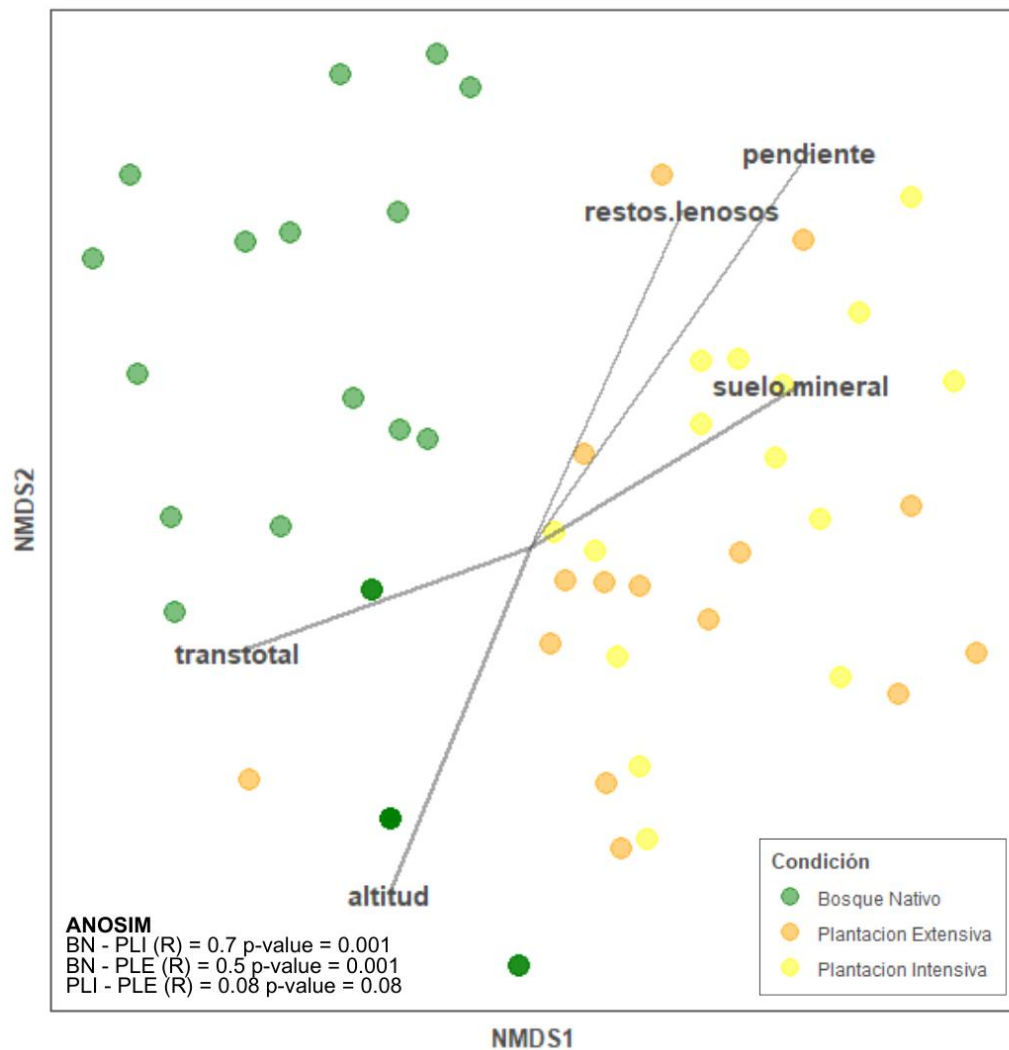


Fig. 15. Ordenación NMDS con datos florísticos de las parcelas de Bosque Nativo (N = 30), Plantación Extensiva (N = 15) y Plantación Intensiva (N = 15) en sitio Rucamanque. La longitud de las líneas indica el nivel de ajuste de las variables. Los valores de ANOSIM indican la diferencia entre las condiciones BN = Bosque Nativo, PLE = Plantación extensiva, PLI = Plantación Intensiva. La parcela de plantación extensiva que se ubica junto a las parcelas de bosque nativo corresponde a la única parcela de plantación en la que no se registró *P. radiata**

Anexo 3

Tabla 11: Etapa sucesional de las especies regenerando en plantaciones en sitios Los Barros. La tolerancia fue utilizada como indicativo de la etapa sucesional.

Especie	Etapa sucesional
<i>Nothofagus obliqua</i>	Semitolerante
<i>Gevuina avellana</i>	Semitolerante
<i>Aristotelia chilensis</i>	Intolerante
<i>Maytenus boaria</i>	Intolerante
<i>Luma apiculata</i>	Semitolerante
<i>Peumus boldus</i>	Intolerante
<i>Podocarpus salignus</i>	Semitolerante
<i>Persea lingue</i>	Tolerante

Anexo 4

Tabla 12: Etapa sucesional de las especies regenerando en plantaciones en sitios Rucamanque. La tolerancia fue utilizada como indicativo de la etapa sucesional.

Especie	Etapa sucesional
<i>Aristotelia chilensis</i>	Intolerante
<i>Persea lingue</i>	Tolerante
<i>Luma apiculata</i>	Semitolerante
<i>Aextoxicon punctatum</i>	Tolerante
<i>Eucryphia cordifolia</i>	Semitolerante
<i>Peumus boldus</i>	Intolerante
<i>Cryptocaria alba</i>	Tolerante