

UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

EFFECTOS DE LA ALTERACIÓN DEL HÁBITAT EN LA CONSERVACIÓN DE LA
REGENERACIÓN NATURAL DE *ARAUCARIA ARAUCANA* EN BOSQUES
MIXTOS DE *ARAUCARIA*-LENGA

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

MARÍA JOSÉ KAFFMAN BARBA

Bióloga Ambiental

Santiago, Chile

2024

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

Profesor(a) Guía

Nombre Álvaro Promis

Nota 6,8

Firma



Profesor(a) Consejero(a)

Nombre Jaime Hernández

Nota 7,0

Firma



Profesor(a) Consejero(a)

Nombre Karen Peña

Nota 6,5

Firma



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su apoyo, a Tomás por su compañerismo y contención, y a mis amigos por sus consejos. Al Santi y al Felipe por compartirme sus conocimientos estadísticos, y a mis compañeras de trabajo Anto, Sofi, Maca, Bea y Cata que hicieron posible que encontrara el tiempo necesario para finalizar este proyecto de grado.

Igualmente, quiero expresar mi profundo agradecimiento al equipo de investigadores de la Universidad de Chile por proporcionar la base de datos que sustentó este proyecto, y a todos quienes participaron del trabajo de campo.

Agradezco sinceramente a mis profesores consejeros por su valiosa orientación, y especialmente a mi profesor guía, Álvaro Promis, cuyo apoyo y disposición fue crucial para la culminación de esta etapa.

Al proyecto FIBN N°016/2019 por financiar esta actividad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 MARCO TEÓRICO	1
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS	6
2.1 ESPECIE Y ÁREA DE ESTUDIO	6
2.2 METODOLOGÍA	12
2.2.1 <i>Caracterización y análisis de la regeneración natural arbórea en bosques de araucaria-lenga con diferente nivel de alteración</i>	12
2.2.2 <i>Evaluación del establecimiento de plantas de regeneración de Araucaria araucana en las inmediaciones del árbol madre en diferentes niveles de alteración del hábitat</i>	13
2.2.3 <i>Recomendaciones para la conservación de Araucaria araucana en bosques mixtos de araucaria-lenga</i>	15
3. RESULTADOS	16
3.1 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA REGENERACIÓN NATURAL ARBÓREA EN BOSQUES DE ARAUCARIA-LENGA CON DIFERENTE NIVEL DE ALTERACIÓN	16
3.2 EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE PLANTAS DE REGENERACIÓN DE <i>ARAUCARIA ARAUCANA</i> EN LAS INMEDIACIONES DEL ÁRBOL MADRE EN DIFERENTES NIVELES DE ALTERACIÓN DEL HÁBITAT	25
3.3 RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE <i>ARAUCARIA ARAUCANA</i> EN BOSQUES MIXTOS DE ARAUCARIA-LENGA	33
3.3.1 <i>Resultado de la encuesta</i>	33
3.3.2 <i>Antecedentes sobre la regeneración de la especie</i>	35
3.3.3 <i>Propuesta de gestión</i>	38
4. DISCUSIÓN	44
5. CONCLUSIONES	49
6. BIBLIOGRAFÍA	50
7. APÉNDICE	60
APÉNDICE I	60
APÉNDICE II	61
APÉNDICE III	62
APÉNDICE IV	64
APÉNDICE V	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>Araucaria araucana</i> en Chile y Argentina (Modificado de González et al., 2014).	6
Figura 2. Área de estudio y distribución de los doce rodales seleccionados.	9
Figura 3. Diagrama de caja de la fracción de claros para los cuatro niveles de alteración (de Hernández et al., 2022).	9
Figura 4. Metodología de muestreo a través de subparcelas de 4 m ² en cada uno de los rodales.	12
Figura 5. Metodología para identificar cambios en el establecimiento de plantas de regeneración de <i>Araucaria araucana</i> en las inmediaciones del árbol madre.	14
Figura 6. Histograma de presencia-ausencia de plantas de regeneración de especies leñosas por parcela en los sitios de muestreo por nivel de alteración.	17
Figura 7. Distribución promedio por clase de altura de las plantas de regeneración por especie en los diferentes niveles de alteración: "Sin", "Bajo", "Medio" y "Alto". Las barras de error corresponden a la desviación estándar. El valor registrado arriba corresponde al valor de la barra de error de las plantas de regeneración de clase de altura 2 de <i>N pumilio</i> , en los sitios con nivel de alteración medio.	19
Figura 8. Comparación de la distribución de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura, a partir de columnas 100% apiladas.	21
Figura 9. Correlación entre las características morfológicas del árbol madre y la regeneración de <i>A. araucana</i> registrada en sus inmediaciones.	25
Figura 10. Relación entre la cobertura arbórea y el promedio de la densidad de plantas de regeneración de <i>Araucaria araucana</i> encontradas por metro cuadrado en las inmediaciones de los árboles madre muestreados en los sitios de estudio. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.	26
Figura 11. Densidad promedio de plantas de regeneración por metro cuadrado registradas en función de la distancia al árbol madre. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.	29
Figura 12. Densidad promedio de plantas de regeneración de diferentes clases de altura en función de la distancia al árbol madre.	31
Figura 13. Densidad promedio de plantas de regeneración de diferentes clases de altura en función de la distancia al árbol madre para los diferentes niveles de alteración.	32
Figura 14. Ejemplificación de los parches de exclusión propuestos (en rojo) en las inmediaciones del árbol madre.	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sitios de estudio.	10
Tabla 2. Descripción de los niveles de alteración en función de las actividades que se desarrollan en el territorio (basado en Hernández et al., 2022).	10
Tabla 3. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).	16
Tabla 4. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).	18
Tabla 5. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).	19
Tabla 6. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea según micrositio, en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).	20
Tabla 7. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).	20
Tabla 8. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).	22
Tabla 9. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rangos de cobertura. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).	23
Tabla 10. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rangos de cobertura en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).	23
Tabla 11. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rangos de cobertura en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).	24
Tabla 12. Correlación de Spearman entre la cobertura arbórea y la densidad de plantas de regeneración encontrada por metro cuadrado en las inmediaciones de los árboles madre muestreados.	26
Tabla 13. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración encontrada en las inmediaciones del árbol madre. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).	27

Tabla 14. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración por transecto (40m ²) en las inmediaciones del árbol madre en los diferentes niveles de alteración, desglosado por clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y Prueba U de Mann Whitney a posteriori (p<0,05).	28
Tabla 15. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).	28
Tabla 16. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio, según orientación. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).	29
Tabla 17. Promedio y desviación estándar de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio en los diferentes niveles de alteración, según orientación. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).	30
Tabla 18. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio, desglosado por clase de altura.	31
Tabla 19. Promedio y desviación estándar de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).	31
Tabla 20. Efecto de la alteración, cobertura arbórea, clase de altura y orientación en la distribución espacial de las plantas de regeneración en las inmediaciones del árbol madre. Análisis de homogeneidad de la pendiente (waldtest), utilizando un Modelo Lineal Generalizado (GLM).	32
Tabla 21. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por transecto (40m ²) registrada según micrositio por nivel de alteración.	33

RESUMEN

Araucaria araucana (Molina) K. Koch, es una conífera dioica endémica de los bosques templados de Chile y Argentina, actualmente declarada como Monumento Natural y clasificada en categoría de amenaza Vulnerable, estando prohibida su afectación directa. Por otro lado, la ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, reforzó la protección de esta especie, al proteger los bosques que constituyen hábitat de las especies forestales clasificadas en categoría de conservación, prohibiendo su alteración con la finalidad de resguardar la continuidad de estas especies en los territorios. Pese a lo anterior, el estado de conservación de *A. araucana* continúa siendo de preocupación al presentar una escasa representación de individuos jóvenes en la estructura etaria, lo que podría explicarse por la persistencia de factores antrópicos no regulados susceptibles de reducir la oferta de semillas y modificar la composición y estructura del bosque.

Este estudio se centra en determinar los efectos de la alteración del hábitat sobre la regeneración de *A. araucana* en los bosques mixtos de araucaria-lenga a través del estudio de la abundancia y distribución de las plantas de regeneración de esta especie en las inmediaciones del árbol madre, con el propósito de proponer prácticas de conservación.

Según los resultados, al analizar los efectos de la alteración del hábitat en los bosques mixtos de araucaria-lenga no se observan diferencias significativas en la composición de las plantas de regeneración de especies leñosas a nivel de superficie. Sin embargo, si se observa diferencias significativas cuando se analizan las plantas de regeneración de *A. araucana* en las inmediaciones del árbol madre en los diferentes niveles de alteración.

En las inmediaciones del árbol madre, la densidad de las plantas de regeneración varía significativamente según el nivel de alteración del hábitat, encontrándose una mayor densidad observada en sitios con bajo nivel de alteración y una menor densidad en aquellos sitios sin alteración aparente. Esta densidad es modulada también por la distancia al árbol madre, la cobertura y la edad de las plantas de regeneración, lo que sugiere una supervivencia diferencial en función de la distancia al árbol madre, lo que proporciona información valiosa para la priorización de esfuerzos de conservación según los diferentes niveles de alteración del sitio en cuestión.

Palabras claves: *Araucaria araucana*, regeneración, distribución espacial, Alteración del hábitat, conservación

SUMMARY

Araucaria araucana (Molina) K. Koch is a dioecious conifer endemic to the temperate forests of Chile and Argentina, currently designated as a Natural Monument and classified as Vulnerable, with direct impact prohibited. On the other hand, Law 20.283 on Native Forest Recovery and Forestry Promotion reinforced the protection of this species by safeguarding forests that constitute habitat for forest species classified under conservation categories, prohibiting their alteration to preserve the continuity of these species in the territories. Despite the above, the conservation status of *A. araucana* remains a concern due to its low representation of young individuals in the age structure, which could be explained by the persistence of unregulated anthropogenic factors capable of reducing seed availability and modifying the composition and structure of the forest.

This study focuses on determining the effects of habitat alteration on the regeneration of *A. araucana* in mixed araucaria-lenga forests through the study of the density and spatial distribution of regeneration plants of this species in the vicinity of the mother tree, with the purpose of proposing conservation practices.

According to the results, when analyzing the effects of habitat alteration on the regeneration of *A. araucana* in mixed araucaria-lenga forests, no significant differences are observed in the composition of woody species' regeneration plants at the surface level. However, this is observed when analyzing the regeneration plants of *A. araucana* in the vicinity of the mother tree in different levels of alteration.

In the vicinity of the mother tree, the density of regeneration plants varies significantly depending on the level of habitat alteration, with higher density observed in sites with low levels of alteration and lower density in those sites without apparent alteration. This density is also modulated by the distance to the mother tree, coverage, and age of the regeneration plants, suggesting differential survival depending on the distance to the mother tree, which can provide valuable information for prioritizing conservation efforts according to the different levels of site alteration in question.

Keywords: *Araucaria araucana*, regeneration, spatial distribution, habitat alteration, conservation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Marco Teórico

Araucaria araucana (Molina) K. Koch (Araucariaceae), también conocida como Araucaria o Pehuén, es una conífera dioica endémica de los bosques templados de Chile y Argentina (Donoso, 1998), que se distribuye tanto en la Cordillera de la Costa como en ambas laderas de la cordillera andina, entre los 37 y 40° S (González et al., 2006). Esta especie, caracterizada por ser de muy lento crecimiento y gran longevidad, fue fuertemente afectada en el pasado por explotación maderera e incendios forestales para la habilitación de terrenos agrícolas, especialmente como resultado de la colonización eurochilena a partir de la década de 1880 (González y Veblen, 2007). Esto, junto con la sustitución de bosque nativo por plantaciones forestales, ha generado una reducción del área de distribución natural de *A. araucana* (Hechenleitner et al., 2005), la cual se estima actualmente de 252.217 ha (CONAF, 2021).

A. araucana se encuentra declarada como Monumento Natural en Chile desde 1976 (DS N° 29/1976 MINAGRI; DS N° 43/1990 MINAGRI), quedando prohibida su explotación directa. Por otro lado, el año 2008, *A. araucana* fue clasificada como Vulnerable a nivel nacional (DS N°51/2008 MINSEGPRES) y el año 2018 las poblaciones de la Cordillera de Nahuelbuta fueron declaradas como En Peligro (DS N°79/2018 MMA). Adicionalmente, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2001) regula el comercio internacional de la araucaria, incluida su semilla.

La ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, promulgada y publicada en julio del 2008, permitió reforzar la protección de *A. araucana*, dado que, en función de esta ley, aumenta la protección de los bosques que constituyen hábitat de especies forestales clasificadas en categoría de conservación, con la finalidad de resguardar la continuidad de estas especies en el territorio (artículo 19°). A partir de esta ley, estos bosques quedan clasificados como bosques nativos de preservación (artículo 2°, numeral 4), cuyo manejo sólo puede hacerse con el objeto de resguardar su biodiversidad y potencial evolutivo, a través de un Plan de Manejo de Preservación (Reglamento General de la ley, artículo 4°).

Es así como en la actualidad se prohíbe tanto la afectación directa de *A. araucana* como la alteración de su hábitat, entendiéndose este último como “*el cambio en el ambiente de uno o más individuos de una especie vegetal, que puede llevar a su muerte o a que se vea imposibilitado de reproducirse*” (Reglamento General de la ley, artículo 2º, literal a). En este contexto, el hábitat se considera como el espacio explícito que reúne las condiciones y características físicas y biológicas necesarias para que una especie pueda perpetuar su presencia en el tiempo (Delfín-Alfonso et al., 2014), donde las alteraciones, según su naturaleza y magnitud, son susceptibles de afectar la capacidad de las especies para mantenerse y perpetuarse en el territorio.

El establecimiento de figuras como el Plan de Manejo de Preservación y conceptos como “Alteración del hábitat” dentro del marco normativo son fundamentales para fortalecer la protección y conservación de los ecosistemas forestales. Sin embargo, para poder cumplir con los objetivos que persigue la ley se requiere de un acabado conocimiento de la ecología de las poblaciones y sus ecosistemas. Para mantener la continuidad de las especies vegetales con problemas de conservación en los territorios, se requiere, entre otras cosas, del resguardo del nicho de regeneración, concepto propuesto por Grubb (1977), para hacer alusión a todos los requerimientos, tanto físicos como biológicos, que deben suceder para la incorporación o reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones biológicas. De esta manera, el reclutamiento exitoso supone la superación de una serie de etapas concatenadas que suceden a lo largo del ciclo de regeneración, y que se encuentran relacionadas con: (1) la producción de semillas viables; (2) la dispersión; (3) la germinación o nacencia de plántulas; (4) el establecimiento de las plantas de regeneración, y finalmente (5) el desarrollo de los individuos juveniles hasta alcanzar la madurez reproductiva (Jordano-Barbudo et al., 2008).

Los estudios sobre la dinámica de comunidades vegetales se centran en procesos demográficos que, a lo largo del tiempo, determinan su estructura y composición. Estos procesos se estudian principalmente mediante los patrones de distribución de clases según la edad, diámetro y/o la altura de los individuos (Daniel et al., 1982; Soto et al., 2010). A partir de estos estudios es posible observar los patrones de establecimiento de las plantas de regeneración y su desarrollo en diferentes momentos o escenarios. Según Veblen (1992), la dinámica de establecimiento y regeneración dependen de las características propias de la especie y de su comportamiento de regeneración, tanto a escala espacial como temporal, en respuesta a los regímenes de perturbación. Estos patrones pueden

clasificarse en tres tipos: (a) regeneración continua, (b) regeneración por apertura de claros (“gap-phase”), o (c) regeneración por perturbación catastrófica. Es importante destacar que estos patrones de regeneración no son inherentes a las especies individuales, sino que pueden variar geográficamente en función de la composición de la comunidad y de los factores abióticos específicos del sitio en particular (Veblen, 1989; Veblen et al., 1995, 2004).

En los bosques mixtos de araucaria-lenga, presentes en la cordillera andina de la zona centro-sur de Chile, *A. araucana* presenta una dinámica de regeneración dependiente de regímenes de perturbaciones a gran escala, que van desde la influencia de alteraciones catastróficas hasta la generación de grandes claros (Veblen, 1982; Burns, 1993; Armesto et al., 1996; González et al., 2005, 2010b). En este sector, los principales disturbios naturales que se encuentran presentes en estos bosques son el fuego, el viento, la actividad volcánica y los deslizamientos de tierra (Veblen et al., 2004). Al ser una región volcánica, el fuego como agente modelador del paisaje se encuentra presente al menos desde los últimos 40.000 años (Heusser 1983, 1994), jugando un importante papel en la estructura y dinámica de estos bosques (González y Veblen, 2007). Debido a esto, la especie se encuentra altamente adaptada a disturbios por fuego (Montaldo 1974; Veblen et al., 1995, 1996; González et al., 2006), presentando características que le permiten contrarrestar y responder a los incendios tanto superficiales como catastróficos, tales como el grosor de la corteza, la poda natural de ramas bajas, la resistencia del piñón al fuego, y la capacidad de rebrote vegetativo (Burns, 1993; Veblen et al., 2005; González et al., 2006; González y Veblen, 2007; Quezada, 2008).

Además de los regímenes de perturbación, se describen como limitaciones para la regeneración de esta especie, la producción de semillas, la depredación de semillas y la falta de micrositios aptos para la germinación y el crecimiento de las plantas de regeneración (Clark et al., 1999). Debido al tamaño de las semillas (de 3,5 a 3,8 gr), la regeneración de *A. araucana* se desarrolla en las inmediaciones del árbol madre y su distribución tiene relación con la distancia madre-plántula versus la supervivencia (Hernández et al., 2022). Según Sanguinetti y Kitzberger (2009a), la regeneración de *A. araucana* se ajustaría al modelo Janzen-Connell de establecimiento de plántulas, donde el máximo de establecimiento ocurriría a distancias intermedias del árbol madre.

Las semillas grandes, como las de *A. araucana*, presentan ventajas para el establecimiento y la supervivencia en los primeros estadios (Moles et al., 2004; Baraloto et al., 2005). Sin embargo, se asocian con una menor distancia de dispersión y un mayor riesgo de depredación (Harper et al., 1970). Estas semillas se quedan cercanas al árbol madre, con un radio de dispersión de 5-12 m (Caro, 1995; González et al., 2006), pudiendo alcanzar distancias mayores a través de la dispersión por aves y mamíferos (Finckh y Paulsch, 1995; Donoso, 1998; Shepherd et al., 2008). Dada la reducida distancia de dispersión en comparación a otras especies, la presencia de micrositios favorables para la regeneración en las inmediaciones del árbol madre puede resultar una limitante importante para la regeneración de esta *A. araucana* (Sanguinetti y Kitzberger, 2009a).

Actualmente, el estado de conservación de *A. araucana* continúa siendo de preocupación, agravado a través del tiempo por una escasa representación de individuos jóvenes en la estructura etaria (Roig et al., 2014). Esta situación podría explicarse por la persistencia de factores antrópicos no regulados por la ley 20.283 que, aunque menos agresivos, son susceptibles de continuar alterando la estructura y composición de estos bosques. Entre estos factores se han descrito la presencia de especies invasoras (Peña et al., 2008; Sanguinetti y Kitzberger, 2009b; Shepherd y Ditgen, 2012; Pauchard et al., 2014; Silva, 2017), la sobreexplotación de semillas por comunidades humanas a través de diversos métodos de piñoneo (Neira, 1995; González et al., 2014; Cortés et al., 2019), la colecta de leña y el madereo de aprovechamiento (González y Veblen, 2007), y el sobrepastoreo (González et al., 2006; Zamorano-Elgueta et al., 2012; Donoso et al., 2014; Tella et al., 2016). Estas acciones en conjunto reducen la oferta de semillas para la regeneración, y modifican la composición y estructura del bosque (Zamorano-Elgueta et al., 2014; Gardonio, 2021).

Aunque la regeneración de esta especie está asociada a patrones de perturbación (Burns, 1991), es posible que ciertos niveles de alteración del hábitat limiten o detengan el ciclo vital de las poblaciones, poniendo en riesgo su posibilidad de regeneración, y con esto la permanencia de la especie en el territorio. Este estudio se centra en determinar los efectos de la alteración del hábitat en la regeneración de *A. araucana* en los bosques mixtos de araucaria-lenga en la Región de la Araucanía

Según Gardonio (2021), la alteración de origen antrópica en estos bosques modifica la estructura en términos de dominancia en cuanto a densidad, área basal, volumen y

biomasa. Saber de qué manera estas modificaciones en la estructura del bosque afecta a la regeneración de la especie permitirá definir estrategias de conservación y restauración de *A. araucana*, además de proporcionar antecedentes a los tomadores de decisión que permitan identificar umbrales aceptables de alteración dirigido a preservar el vínculo que las comunidades locales actualmente establecen con estos bosques, a través de un aprovechamiento sustentable.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer prácticas de conservación de *Araucaria araucana* en bosques degradados de araucaria-lenga a través del fortalecimiento del proceso de regeneración natural.

1.2.2 Objetivos específicos

- I. Caracterizar y analizar la regeneración natural arbórea en bosques de araucaria-lenga con diferentes niveles de alteración.
- II. Evaluar el establecimiento de plantas de regeneración de *Araucaria araucana* en las inmediaciones del árbol madre en diferentes niveles de alteración del hábitat.
- III. Proponer recomendaciones para la conservación de *Araucaria araucana* en bosques mixtos de araucaria-lenga.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Especie y área de estudio

A. araucana es una especie dioica y ocasionalmente monoica, endémica de los bosques templados de Chile y Argentina (Donoso, 1998), capaz de alcanzar 50 metros de altura y 2,5 metros de diámetro de fuste (González et al., 2006). Los árboles adultos presentan formas de paraguas, de copa alta y sin ramas bajas, mientras que los individuos jóvenes presentan formas piramidales con ramas hasta el suelo. Las hojas son perennes, de color verde oscuro, imbricadas y espiraladas (González et al., 2006).

En la Cordillera de los Andes, *A. araucana* se distribuye desde los 37° 27' S hasta los 40° 03' S, entre los 1.000 y 1.600 msnm (González et al., 2006). Mientras que en la Cordillera de la Costa, la especie se encuentra exclusivamente en la Cordillera de Nahuelbuta (37° 40'S - 38° 40' S), a altitudes entre los 900 hasta los 1.400 msnm (Donoso, 1998; González et al., 2013). En Argentina, la especie se encuentra en la cordillera andina de la Provincia de Neuquén, entre los 900 y 1.800 msnm (**Figura 1**).

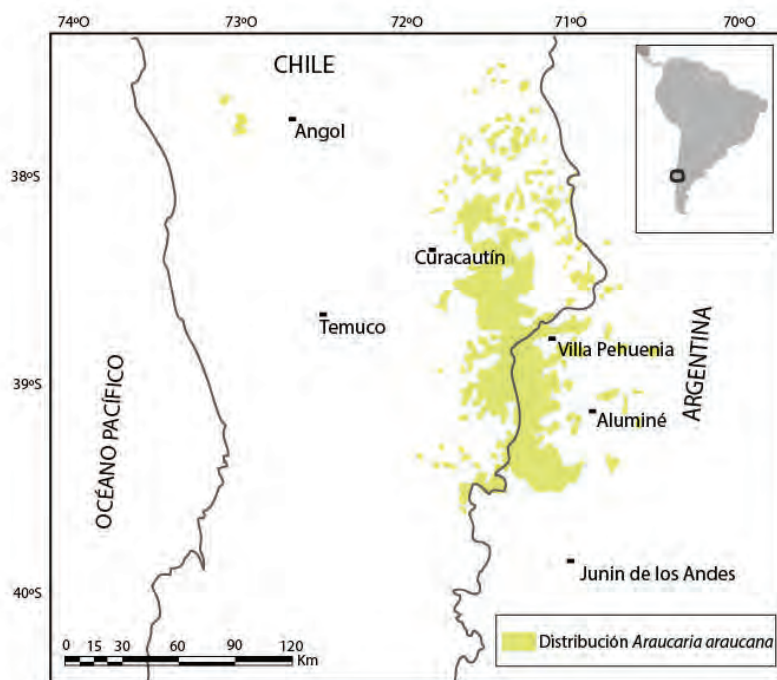


Figura 1. Distribución de *Araucaria araucana* en Chile y Argentina (Modificado de González et al., 2014).

Esta especie se caracteriza por ser de muy lento crecimiento y gran longevidad, con edades máximas calculadas de hasta 1.021 años (Armesto et al., 1996; González et al., 2006; Aguilera-Betti et al., 2017). Los individuos inician la producción de flores y frutos alcanzados los 15-25 años (Donoso, 1993). El ciclo reproductivo de esta especie dura aproximadamente dos años, siendo capaz de producir en promedio entre 36 y 208 semillas por cono (Donoso et al., 2024), y hasta 300 semillas por cono femenino (Caro, 1995). La polinización es anemófila, y los gránulos de polen alcanzan una distancia máxima de 5 km desde el árbol padre (Heusser et al., 1988). Respecto a la dispersión de semillas, los principales vectores son la gravedad y el viento. Debido al tamaño y peso de las semillas (de 1,9 a 5,3 g según Donoso et al., 2024), estas se quedan cercanas al árbol madre, con un radio de dispersión de 5-12 m (Caro, 1995; González et al., 2006), pudiendo alcanzar distancias mayores a través de la dispersión por aves y mamíferos (Donoso, 1998; Finckh y Paulsch, 1995; González et al., 2006; Shepherd et al., 2008).

Las formaciones boscosas en donde participa esta especie se denominan de “Tipo forestal Araucaria” (Donoso, 1998). Estas formaciones, se encuentran conformadas por rodales puros de *A. araucana* o en asociación a especies del género *Nothofagus*. Dependiendo de la altitud, latitud y exposición donde se localice, *A. araucana* se encuentra asociada con *N. dombeyi*, *N. obliqua*, *N. pumilio* y/o *N. antarctica* principalmente (Donoso, 1998). La asociación *A. araucana* – *N. pumilio* (araucaria-lenga) resulta ser la más característica del nivel altitudinal superior, mientras que *A. araucana* – *N. dombeyi* (araucaria-coigüe) ocurre mayormente en sectores medios de las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes, donde existe mayor precipitación (Gajardo, 1980; Veblen et al., 2005).

Los climas en los que se desarrolla la especie corresponden al clima templado cálido, de hielo y seco de estepa. El clima templado cálido prevalece en la Cordillera de Nahuelbuta y en el rango de distribución de la especie en bajas y medias altitudes de la Cordillera de los Andes. El clima de hielo, por efecto de altura, es aquel propio de las mayores altitudes de la Cordillera de los Andes, donde escasos ejemplares y bosquetes de *A. araucana* crecen tanto hacia el sector chileno como al argentino (Burns, 1991). Debido a su distribución, *A. araucana* presenta gran tolerancia a las bajas y altas temperaturas (Montaldo, 1974; Donoso, 1993, Veblen y Delmastro, 1976).

El área de estudio se ubica en la Región de la Araucanía, en las provincias de Cautín y Malleco, entre los 38 y 39° S, en las comunas de Lonquimay, Curacautín y Melipeuco. Este sector, conocido como Araucanía Andina, se ubica en la precordillera y Cordillera de los Andes, cuya morfología obedece a procesos glaciares, fluviales y volcánicos, que han generado como resultado un paisaje de macizos rocosos y valles intermontanos con poco desarrollo sedimentario (Municipalidad de Melipeuco, 2011).

El sector, se caracteriza por presentar una precipitación promedio acumulada anual que varía entre 2.295 mm (estación Manzanar; 38.4631°S, 71.6992°O, 791 m; Explorador Climático (CR)²; <http://explorador.cr2.cl>) y 1.378 mm (estación Lonquimay; 38.4536°S, 71.3742°O, 931 m; Explorador Climático (CR)²; <http://explorador.cr2.cl>), con una clara disminución de las precipitaciones de Oeste a Este debido al efecto de sombra de lluvia (González et al., 2013). Sin embargo, en las últimas décadas la frecuencia de años secos ha ido en aumento, especialmente desde el año 2005 (CR2, 2015; Santibáñez y Santibáñez, 2018; Gipoulou, 2017). La temperatura media anual es de 10,7 °C (estación Manzanar; 38.4631°S, 71.6992°O, 791 m; Explorador Climático (CR)²; <http://explorador.cr2.cl>), alcanzando temperaturas mínimas y máximas que van desde los -6 hasta los 32,8 °C, respectivamente.

Este proyecto se inserta en el FIBN N°016/2019, cuya base de datos fue elaborada en febrero del 2021, y proporcionada por el equipo de investigadores a cargo, de la Universidad de Chile. Los bosques seleccionados para este estudio corresponden al subtipo forestal araucaria-lenga, con topografía general suave o plana.

Con el fin de analizar los efectos de la alteración del hábitat en la regeneración de *A. araucana* en bosques de araucaria-lenga, Hernández et al. (2022), mediante observaciones en terreno, entrevistas a expertos e informes preexistentes, identificaron doce rodales, los que fueron agrupados en cuatro grupos según nivel de alteración (alto, medio, bajo y sin alteración). Para cada nivel de alteración definido se escogieron tres rodales de aproximadamente 5 ha, los cuales se seleccionaron de manera que fueran comparables en términos de condiciones de sitio (**Figura 2**). Estos rodales incluyen áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado con la finalidad de incluir áreas sin factores de alteración aparente, entre ellas el Parque Nacional Conguillío y la Reserva Nacional Malalcahuello. El resto de los rodales se establecieron en propiedad privada.

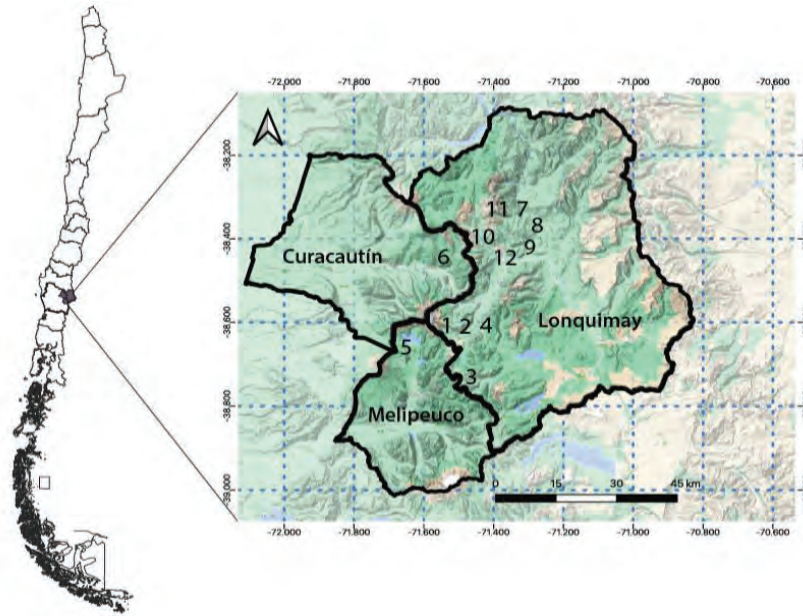


Figura 2. Área de Estudio y distribución de los doce sitios seleccionados.

Los diferentes niveles de alteración fueron agrupados principalmente en función de la cobertura arbórea y los factores o agentes de alteración que han operado históricamente en el territorio. A partir de fotometría, utilizando la metodología Lhemi (Pirotti, 2021), los investigadores obtuvieron diferencias significativas respecto al porcentaje de fracción de claros entre los cuatro niveles de alteración (Hernández et al., 2022). Este valor fue menor en los rodales sin alteración (10-20%), aumentando junto con el nivel de la alteración, mostrando una relación de linealidad, alcanzando fracciones de claros superiores a 30% en los sitios con niveles de alteración Medio y Alto (**Figura 3**).

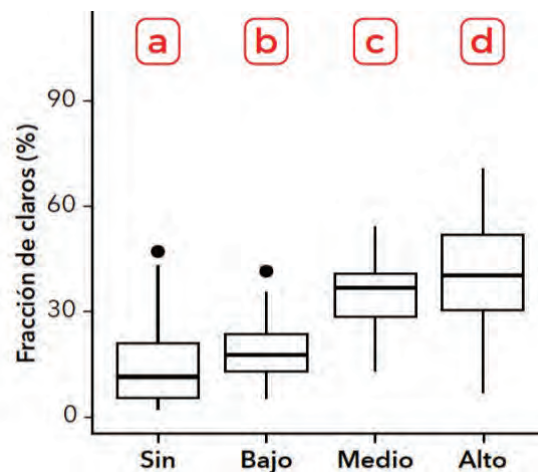


Figura 3. Diagrama de caja de la fracción de claros para los cuatro niveles de alteración (de Hernández et al., 2022).

A continuación, se presentan las características de los rodales o sitios de estudio (**Tabla 1**), seguido por la descripción del nivel de alteración (**Tabla 2**) y las características de estos. Imágenes satelitales de los sitios se muestran en el **Apéndice I**.

Tabla 1. Sitios de estudio.

Nivel de alteración	Sitio	Comuna	Localidad	Coordenadas UTM		Área (ha)	Área total (ha)	Altitud (m.s.n.m.)	Pendiente (°)
				S	E				
Sin	4	Lonquimay	La Fusta	285688	5718582	6.296	19.629	1.542	23,86
	5	Melipeuco	Conguillio	267112	5719222	7.374		1.304	5,77
	6	Curacautín	Malalcahuello	278133	5743253	5.454		1.360	19,26
Bajo	7	Lonquimay	El Naranjo	295735	5749762	5.917	17.413	1.617	24,23
	8	Lonquimay	El Naranjo	295614	5749517	5.962		1.609	29,94
	9	Lonquimay	El Naranjo	296187	5749259	5.534		1.691	25,04
Medio	10	Lonquimay	El Naranjo	295135	5748516	6.527	19.836	1.652	25,64
	11	Lonquimay	El Naranjo	295355	5748747	6.702		1.670	21,57
	12	Lonquimay	El Naranjo	294953	5748957	6.607		1.618	20,77
Alto	1	Melipeuco	La Fusta	279924	5718624	7.935	19.629	1.478	5,43
	2	Lonquimay	La Fusta	283661	5718227	5.681		1.402	20,86
	3	Melipeuco	La Fusta	281197	5717214	6.004		1.413	17,43

Las coordenadas corresponden a puntos referenciales de los sitios de estudio.

Tabla 2. Descripción de los niveles de alteración en función de las actividades que se desarrollan en el territorio (basado en Hernández et al., 2022).

Nivel de alteración	Cobertura arbórea (%)	Alteraciones	Característica
Sin	82	Sin grandes alteraciones recientes. Registros aislados de restos de incendios, tocones de árboles cortados. Huellas de senderos y de extracción de leña antigua. Se observan fecas de lagomorfos y bostas de ganado.	Bosque adulto denso, de dosel cerrado, con alta participación de especies del género <i>Nothofagus</i> .
Bajo	58	Presencia de huellas de senderos y huellas madereras de explotaciones antiguas. Indicadores de piñoneo y ganadería reciente. Pisoteos, bostas de vaca, fecas de cabras y/o ovejas.	Bosques semiabiertos, dominados por araucaria. Escasos individuos de lenga.
Medio	42	Erosión y compactación en zonas transitadas por el piñoneo y ganadería. Mayor ocurrencia de bostas de vacas, pisoteo y ramoneo. Mayor presencia de huellas madereras de explotaciones antiguas, extracción de lenga e incluso de araucaria.	Bosques semiabiertos. Se observan araucarias de todas las clases de edad. Regeneración de lengas ramoneadas. Disminución de la capa de materia orgánica del suelo en zonas transitadas.
Alto	42	La principal característica de estos sitios es la alta presencia de restos de incendios recientes. Igualmente se observa, aunque en menor medida, extracción de lenga, ganadería (bostas y ramoneo), huellas de senderos, de fogatas y/o de campamentos.	Pocos individuos grandes de araucaria, con bases quemadas. Bosquetes de renuevos de lenga.

Los sitios sin factores de alteración aparente fueron definidos como aquellos rodales con vestigios de madereo y señales de incendios antiguos, sin grandes alteraciones desde 1998. Estos rodales se caracterizan por ser un bosque adulto denso, de dosel cerrado, cuya cobertura aproximada es del 82%, con una alta participación de especies del género *Nothofagus*. Las araucarias se encuentran presente en el estrato emergente, con una densidad representativa de 165 N/ha y un área basal de 16,5 m²/ha, con lengas con signos de desmoronamiento, cuya densidad alcanza los 109 N/ha y un área basal de 4,8 m²/ha (Hernández et al., 2022).

Los sitios con alteración baja, o baja presencia de factores de alteración, fueron definidos como aquellos cuyas alteraciones principales son el piñoneo y la ganadería, con presencia de senderos y huellas madereras de explotaciones antiguas. Estos rodales se caracterizan por ser bosques semiabiertos con una cobertura aproximada del 58%, dominados por araucarias de diferentes clases de edad (723 N/ha) con un área basal de 47,2 m²/ha. En el sitio se registraron escasos individuos de lenga de gran diámetro (47 N/ha), normalmente en fase de desmoronamiento, alcanzando un área basal de 1,0 m²/ha (Hernández et al., 2022).

Los sitios con alteración media fueron definidos como aquellos cuyas alteraciones provienen principalmente del piñoneo y la ganadería frecuente, además de la extracción maderera de lenga. Estos rodales se caracterizan por ser bosques semiabiertos con una cobertura aproximada del 42%, dividido por huellas madereras y senderos de animales y recolectores. Se observan araucarias de todas las clases de DAP y regeneración de lengas ramoneadas. En este nivel de alteración además se observa una disminución de la capa de materia orgánica del suelo debido a la erosión y compactación en zonas transitadas. De manera representativa de este nivel de alteración, se registra una densidad de araucarias de 191 N/ha con un área basal de 22,9 m²/ha, mientras que en el caso de la lenga, se registran 28 N/ha con 9,4 m²/ha (Hernández et al., 2022).

Finalmente, los sitios con alto nivel de alteración son aquellos con una alta presencia de factores de alteración, relacionados con la extracción de araucarias en el pasado, extracción de lenga, ganadería y piñoneo, e incendios recientes que datan del año 2002. Estos rodales se caracterizan por presentar pocos individuos de araucaria (7 N/ha) con grandes DAP, con bases quemadas sin placas ni corteza, con un área basal representativa de 2,8 m²/ha. Igualmente, se observa abundante madera en descomposición en el piso,

huellas de caminos forestales antiguos, y bosquetes de renuevos de lenga (368 N/ha) con un área basal representativa de 10,2 m²/ha (Hernández et al., 2022).

2.2 Metodología

A continuación se describe la metodología utilizada por los investigadores en el muestreo, seguido por los análisis utilizados para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

2.2.1 Caracterización y análisis de la regeneración natural arbórea en bosques de araucaria-lenga con diferente nivel de alteración

Con el fin de identificar de qué manera la alteración del hábitat afecta la composición y estructura del bosque donde habita *A. araucana*, se establecieron subparcelas de 4 m² (2 x 2 m) distanciadas al menos por 30 m en cada uno de los sitios (**Figura 4**). El muestreo fue variable en el número de subparcelas. Dependiendo del sitio, se muestrearon entre 12 y 20 subparcelas (**Apéndice II, tabla I**).

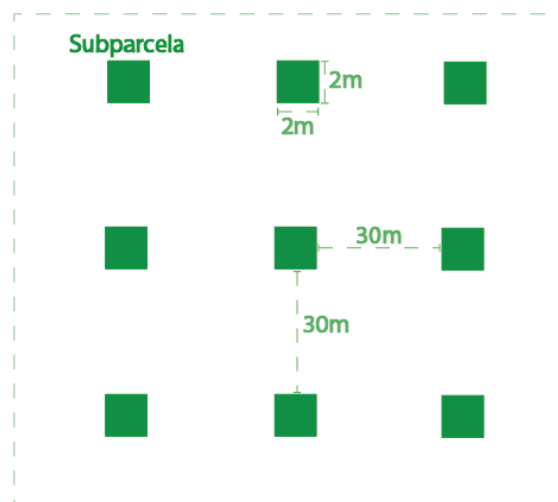


Figura 4. Metodología de muestreo a través de subparcelas de 4 m² en cada uno de los sitios.

En cada una de las subparcelas se realizó una caracterización de las plantas de regeneración de las especies leñosas presentes, por especie, clase de altura y micrositio asociado a su establecimiento. Las clases de altura se clasificaron en (i) plantas recién germinadas con cotiledones, (ii) plantas de menos de 20 cm de altura, (iii) plantas entre 21 y 50 cm de altura, (iv) plantas entre 51 y 100 cm de altura, y (v) plantas de 101 y 200 cm de altura. Los micrositios asociados al establecimiento de las plantas de regeneración se

clasificaron en madera en descomposición, hojarasca y suelo mineral descubierto. La cobertura arbórea se caracterizó con un canopy - scope (Brown et al., 2000). Para el análisis la cobertura se clasificó en tres rangos: menor al 33% de cobertura, entre el 34 y 66% de cobertura, y mayor a 67% de cobertura. Igualmente, se registró la ocurrencia de ramoneo en las plantas de regeneración.

Con la finalidad de caracterizar si los niveles de alteración y cambios en la estructura de los bosques de araucaria-lenga influyen en la regeneración de *A. araucana* y otras especies leñosas, específicamente del género *Nothofagus*, se realizó en una primera instancia un análisis exploratorio de los datos para identificar tendencias entre la regeneración, la altura de regeneración por especie, cobertura arbórea, y los micrositios asociados al establecimiento. Esto en los diferentes niveles de alteración, siendo los sitios la unidad de análisis. Los datos de densidad de regeneración se expresaron en términos de densidad por hectárea.

Para explorar diferencias significativas en el comportamiento de la regeneración en función de los niveles de alteración se trataron los datos con una prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, utilizando como variable independiente el nivel de alteración, y como variable respuesta la densidad de plantas de regeneración con y sin la interacción de las otras variables antes mencionadas, diferenciando entre especies.

En caso de encontrar significancia en las pruebas anteriores, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney a posteriori para determinar de qué manera difieren o se agrupan los diferentes niveles de alteración. Este análisis se realizó utilizando el software R Project, versión 4.2.3 (R Core Team, 2021).

2.2.2 Evaluación del establecimiento de plantas de regeneración de *Araucaria araucana* en las inmediaciones del árbol madre en diferentes niveles de alteración del hábitat

De manera adicional, para evaluar los cambios generados en el establecimiento de *A. araucana* en las inmediaciones del árbol madre dentro del gradiente de alteración, se seleccionaron al azar por rodal entre 5 y 10 individuos femeninos de *A. araucana* con un distanciamiento de al menos 40 m entre árbol (ver **Apéndice II, tabla II**). Desde la base de cada individuo seleccionado se establecieron transectos de 20 m de largo y 2 m de ancho

hacia los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O) (**Figura 5**). En cada transecto, cada un metro de distancia, se contabilizaron las plantas de regeneración de *A. araucana* de hasta 2 m de altura, considerando la clase de altura, distancia al árbol madre, orientación, disponibilidad de luz y asociación a micrositos o microhábitats de establecimiento (e.g., hojarasca, suelo desnudo y madera en descomposición). Respecto al árbol madre, este se caracterizó a partir de su altura, diámetro a la altura del pecho (DAP), y radio de copa hacia los cuatro puntos cardinales.

En una primera instancia, se realizó un análisis exploratorio de los datos para identificar tendencias, siendo el transecto la unidad de análisis (40 m²). A través de una correlación de Spearman se analizaron los datos del árbol madre para establecer si las características morfológicas de este, como la altura, radio de copa y diámetro a la altura del pecho, influyen en la abundancia y distribución espacial de la regeneración encontrada, en relación a la distancia al árbol madre. Igualmente, se realizó un análisis de correlación para identificar de qué manera se comporta la densidad de la regeneración en función de la cobertura arbórea dentro del gradiente de alteración.

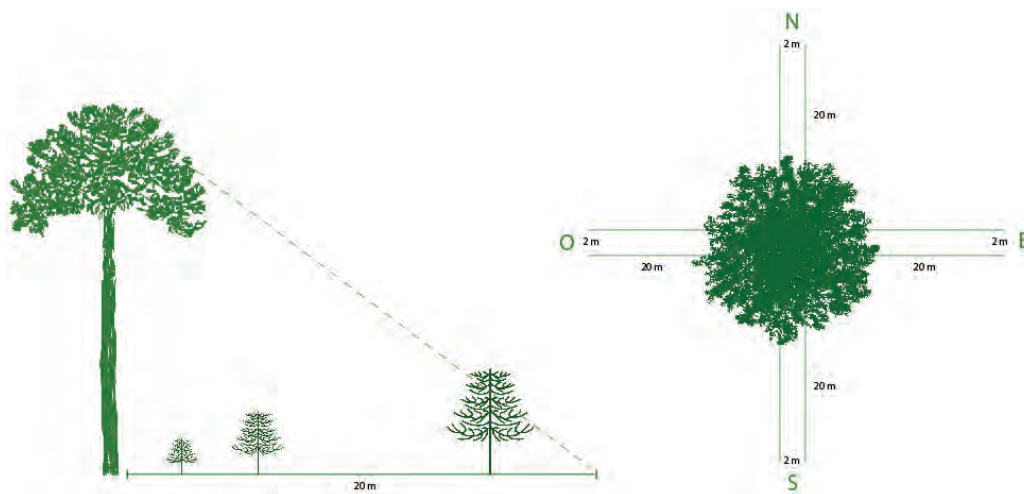


Figura 5. Metodología para identificar cambios en el patrón de plantas de regeneración de *Araucaria araucana* en las inmediaciones del árbol madre.

Respecto a los datos de distribución de la regeneración en las inmediaciones del árbol madre, estos fueron analizados siguiendo la metodología utilizada por Sanguinetti y Kitzberger (2009a), para identificar los posibles cambios en la densidad de las plantas de regeneración en función de la distancia. Para esto se utilizó una Prueba de Homogeneidad de la Pendientes con un Modelo Lineal Generalizado (GLM), asumiendo que los datos siguen una distribución de probabilidad de Poisson. Este análisis se centra en evaluar cómo

la distribución espacial de la regeneración se ve modulada por la clase de altura de las plantas de regeneración, la orientación, la cobertura arbórea y/o el nivel de alteración del rodal. Se considera específicamente a la densidad de las plantas de regeneración por metro cuadrado como la variable dependiente, la distancia como covariable, y los siguientes factores: orientación (Norte, Sur, Este, Oeste), cobertura arbórea (0-25%, 25-50%, 50-75% y 75-100%), clase de altura (<20, 21-50, 51-100 y 101-20 cm) y nivel de alteración (sin, bajo, medio y alto).

Esta prueba se realizó a través de un análisis de Wald, el que permite comparar modelos de GLM con y sin la interacción entre la distancia al árbol madre y cada una de las otras variables independientes. Para esto se utilizó un modelo de referencia que considera únicamente la relación entre la densidad de plantas de regeneración en función de la distancia como covariable, y se comparó con otros modelos que incluyen la interacción de la distancia al árbol madre con las otras variables independientes, permitiendo determinar la significancia estadística de las interacciones y el efecto modulador de las variables sobre la distribución espacial de las plantas de regeneración. Para la selección de los modelos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), métrica ampliamente reconocida en la literatura científica por su capacidad para equilibrar la bondad de ajuste del modelo con su complejidad (Akaike 1998).

2.2.3 Recomendaciones para la conservación de *Araucaria araucana* en bosques mixtos de araucaria-lenga

Se propusieron recomendaciones para la conservación de *A. araucana* en bosques mixtos de araucaria-lenga en base a los antecedentes recopilados en el presente estudio a partir de los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2. Esto complementado mediante una revisión bibliográfica y encuestas realizadas a expertos para conocer sus percepciones.

La revisión bibliográfica se realizó en tres plataformas electrónicas de búsqueda: Google, Google Académico y Web of Science. Además se consultó el repositorio de diferentes universidades. La búsqueda de los trabajos se realizó por medio de las siguientes palabras claves: regeneración, nicho, dispersión, araucaria, y degradación/alteración del hábitat. Por otro lado, la encuesta corresponde a un cuestionario de carácter simple, que contempla tres tipos de preguntas: (1) cerradas, (2) abiertas con abanico de respuestas predeterminadas y (3) abiertas sin respuestas predeterminadas (Sierra-Bravo, 2003). En total la encuesta

consta de ocho preguntas. El criterio de selección de expertos incluye a académicos y profesionales de diversas instituciones, tanto públicas como privadas, que hayan participado en investigaciones y/o trabajos de gestión en esta especie, así como a miembros de las comunidades locales que cuentan con experiencias cercanas a esta especie (ver **Apéndice III**).

Las estrategias de gestión propuestas van orientadas a favorecer la regeneración de *A. araucana* y a proporcionar antecedentes para los tomadores de decisiones al momento de establecer medidas de manejo a las actividades antrópicas no reguladas, que actualmente se desarrollan en los bosques de araucaria-lenga. Esto, sin que signifique eliminar el vínculo que las comunidades locales históricamente han establecido con estos bosques, lo que resulta de gran importancia para establecer estrategias de conservación a largo plazo.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización y análisis de la regeneración natural arbórea en bosques de araucaria-lenga con diferente nivel de alteración

La densidad de plantas de regeneración de especies leñosas en los cuatro niveles de alteración varía en promedio desde 3.961 a 16.407 plantas de regeneración por hectárea. La mayor proporción de estas plantas se registró en los bosques con mediana y sin alteración, mientras que la menor proporción se observó en sitios con alteración baja (**Tabla 3**). Pese a lo anterior, no se observan diferencias significativas en la densidad de estas plantas en los diferentes niveles de alteración.

Tabla 3. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Plantas de regeneración/ha	Alteración				Prueba estadística		
	Sin	Bajo	Medio	Alto	H	gl	p-value
Promedio	11.802,8	3.961,1	16.407,2	4.844,1			
±	±	±	±	±	1,974	3	0,578
σ	16.333,2	1.165,1	19.565,9	3.340,0			

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Al desglosar las plantas de regeneración por especie, se registra una predominancia de las especies *Araucaria araucana* y *Nothofagus pumilio* en los sitios de estudio. Las otras especies, cuya presencia es puntual en sitios determinados fueron agrupadas en la categoría “otras especies leñosas”, donde se encuentran plantas de regeneración de *Nothofagus dombeyi*, *Citronella mucronata*, y plántulas de especies leñosas no

identificadas. Para observar el comportamiento de estas especies dentro de las parcelas muestreadas en cada uno de los sitios, se realizó un análisis binario de presencia-ausencia (**Figura 6**). En este análisis se encontró una gran cantidad de parcelas sin plantas de regeneración, principalmente en los sitios sin alteración y alteración alta. En los sitios sin alteración y alteración baja se encontró una menor presencia de *N. pumilio* en relación a *A. araucana*, mientras que en los sitios con alteración media y alta la presencia *N. pumilio* supera en la mayoría de los casos la frecuencia con que *A. araucana* se encuentra presente durante el muestreo.

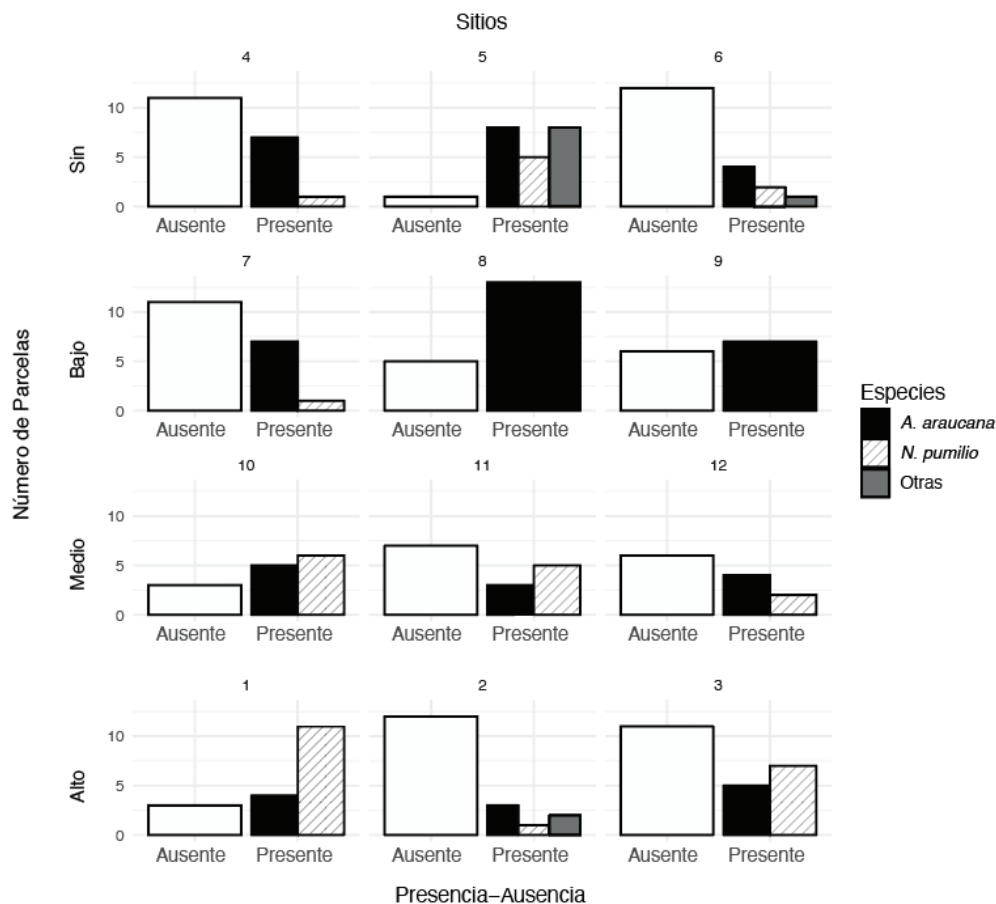


Figura 6. Histograma de presencia-ausencia de plantas de regeneración de especies leñosas por parcela en los sitios de muestreo según nivel de alteración.

En promedio se identifican 2.455 plantas de regeneración de *A. araucana* por hectárea, y 5.076 plantas de regeneración de *N. pumilio*, con una alta variabilidad interna en los diferentes niveles de alteración. En el caso de las otras especies leñosas, en promedio se registran 1.722 plantas de regeneración por hectárea. Sin embargo, estas se encuentran únicamente de manera puntual en sitios sin alteración y alteración alta. No se presentan

diferencias significativas en la densidad de estas plantas de regeneración entre los diferentes niveles de alteración (**Tabla 4**).

Tabla 4. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Especie	Alteración	Plantas de regeneración/ha	
		Promedio \pm	σ
<i>Araucaria araucana</i>	Sin	2.184,6 \pm	1.144,9
	Bajo	3.912,0 \pm	1.223,4
	Medio	2.286,3 \pm	1.628,4
	Alto	1.440,1 \pm	844,1
	Prueba estadística		
	H	4,143	
	gl	3	
	p-value	0,247	
<i>Nothofagus pumilio</i>	Sin	2.823,4 \pm	3.523,1
	Bajo	49,0 \pm	84,9
	Medio	14.120,9 \pm	20.407,8
	Alto	3.311,4 \pm	3.012,6
	Prueba estadística		
	H	5,841	
	gl	3	
	p-value	0,120	
Otras especies leñosas	Sin	6.794,9 \pm	11.769,1
	Bajo	0,0 \pm	0,0
	Medio	0,0 \pm	0,0
	Alto	92,6 \pm	160,4
	Prueba estadística		
	H	2,212	
	gl	3	
	p-value	0,530	

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Respecto a la distribución por altura de las plantas de regeneración, los patrones observados son similares entre especies (**Figura 7**), asemejándose a una “J” invertida horizontalmente, con una casi nula presencia de plantas de regeneración con cotiledones (clase de altura 1) y una mayor proporción de plantas de regeneración menores a 20 cm de altura sin cotiledón (clase de altura 2). Superados los 20 cm, a medida que las plantas de regeneración aumentan en altura, disminuyen su densidad, hasta alcanzar los 51-100 cm de altura (clase de altura 4), donde la densidad de plantas de regeneración se mantiene más o menos estable hasta los 200 cm (clase de altura 5). En el caso de *N. pumilio* esta distribución se aprecia con mayor claridad en los sitios con alteración media y alta, mientras que para *A. araucana*, la distribución de “J” invertida horizontalmente se observa con mayor claridad en los sitios sin alteración y con bajo nivel de alteración. Al comparar la proporción de plantas de regeneración por clase de altura en los diferentes niveles de alteración, no se encontraron diferencias significativas. Únicamente se identificó una significancia marginal en la distribución porcentual de las plantas de regeneración menores a 20 centímetros de

N. pumilio (Kruskal-Wallis, 8,383, $p < 0,05$). Sin embargo, en el análisis a posteriori no se observan diferencias entre grupos (Tabla 5).

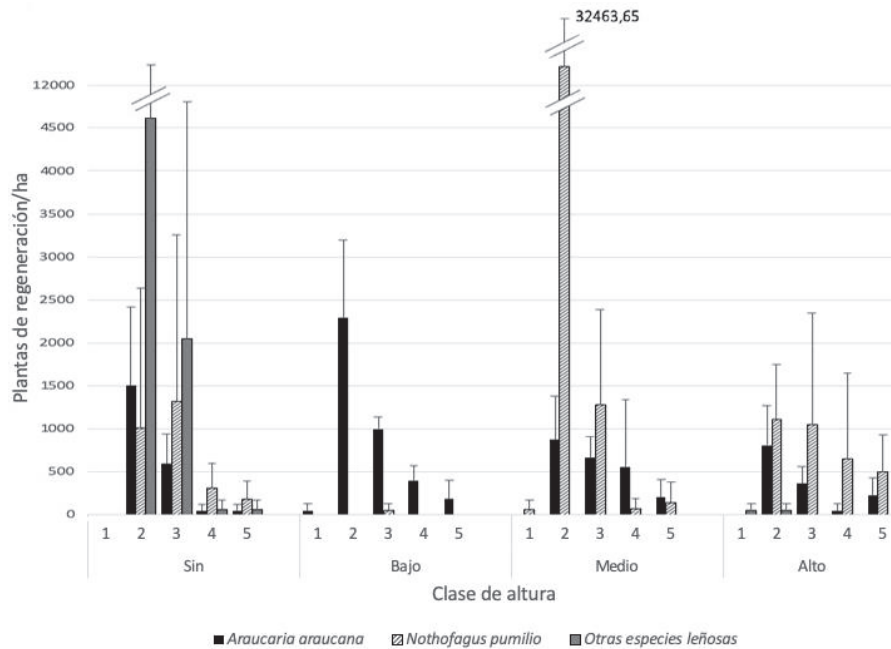


Figura 7. Distribución promedio por clase de altura de las plantas de regeneración por especie en los diferentes niveles de alteración: “Sin”, “Bajo”, “Medio” y “Alto”. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. El valor registrado arriba corresponde al valor de la barra de error de las plantas de regeneración de clase de altura 2 de *N. pumilio*, en los sitios con nivel de alteración medio.

Tabla 5. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

		Plantas de regeneración/ha					
Especie	Alteración	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Altura 5	
		Cotiledón	<20 cm	21-50 cm	51-100 cm	101-200 cm	
		Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	
<i>Araucaria araucana</i>	Sin	0,00 \pm 0,00	66,40 \pm 9,40	28,84 \pm 15,11	2,38 \pm 4,12	2,38 \pm 4,12	
	Bajo	0,88 \pm 1,52	57,62 \pm 8,91	26,35 \pm 4,60	10,94 \pm 7,09	4,22 \pm 3,98	
	Medio	0,00 \pm 0,00	40,24 \pm 4,54	31,01 \pm 12,40	16,43 \pm 17,60	8,10 \pm 7,33	
	Alto	0,00 \pm 0,00	59,76 \pm 14,79	25,27 \pm 1,89	3,03 \pm 5,25	11,94 \pm 10,35	
	Prueba estadística						
		H	3,000	6,613	0,788	3,391	2,674
	gl	3	3	3	3	3	
	p-value	0,392	0,085	0,852	0,335	0,444	
<i>Nothofagus pumilio</i>	Sin	0,00 \pm 0,00	17,15 \pm 22,30	26,42 \pm 26,01	14,00 \pm 19,57	42,42 \pm 51,69	
	Bajo	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	33,33 \pm 57,74	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
	Medio	0,17 \pm 0,29	62,94 \pm 27,37	20,22 \pm 30,71	5,56 \pm 9,62	11,11 \pm 19,25	
	Alto	0,00 \pm 0,00	50,87 \pm 28,69	20,46 \pm 19,28	10,76 \pm 14,82	17,91 \pm 6,16	
	Prueba estadística						
		H	3,000	8,383	0,138	3,220	4,076
	gl	3	3	3	3	3	
	p-value	0,392	<0,05	0,987	0,369	0,253	

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Las plantas de regeneración de *A. araucana* y *N. pumilio* son capaces de establecerse en hojarasca, madera en descomposición y suelo mineral. Al comparar la densidad de plantas de regeneración por micrositio en los diferentes niveles de alteración no se observan diferencias significativas, tanto en general (**Tabla 6**) como a nivel de especie (**Tabla 7**), con una mayor predominancia del establecimiento observado en hojarasca.

Tabla 6. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración de especies leñosas por hectárea según micrositio, en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Alteración	Plantas de regeneración/ha					
	Hojarasca		Madera en descomposición		Suelo mineral	
	Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$
Sin	72,91	$\pm 45,83$	27,09	$\pm 45,83$	0,00	$\pm 0,00$
Bajo	96,28	$\pm 3,23$	1,96	$\pm 3,40$	1,75	$\pm 3,04$
Medio	54,81	$\pm 32,34$	6,10	$\pm 8,65$	28,42	$\pm 39,66$
Alto	73,99	$\pm 18,33$	26,01	$\pm 18,33$	0,00	$\pm 0,00$
Prueba estadística						
H	3,654		3,149		4,992	
gl	3		3		3	
p-value	0,301		0,369		0,172	

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Especie	Alteración	Plantas de regeneración/ha					
		Hojarasca		Madera en descomposición		Suelo mineral	
		Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$
<i>Araucaria araucana</i>	Sin	73,81	$\pm 43,19$	26,19	$\pm 45,36$	0,00	$\pm 0,00$
	Bajo	96,28	$\pm 3,23$	1,96	$\pm 3,40$	1,75	$\pm 3,04$
	Medio	93,33	$\pm 11,55$	6,67	$\pm 11,55$	0,00	$\pm 0,00$
	Alto	77,90	$\pm 28,70$	22,10	$\pm 28,70$	0,00	$\pm 0,00$
	Prueba estadística						
	H	0,687		1,116		3,000	
gl	3		3		3		
p-value	0,876		0,773		0,391		
<i>Nothofagus pumilio</i>	Sin	66,67	$\pm 57,74$	33,33	$\pm 57,74$	0,00	$\pm 0,00$
	Bajo	33,33	$\pm 57,74$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	Medio	48,97	$\pm 26,56$	8,97	$\pm 13,92$	42,06	$\pm 38,71$
	Alto	56,74	$\pm 51,34$	43,26	$\pm 51,34$	0,00	$\pm 0,00$
	Prueba estadística						
	H	0,896		3,026		6,545	
gl	3		3		3		
p-value	0,826		0,398		0,088		

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Respecto a la distribución por altura de las plantas de regeneración entre los diferentes micrositios, se observan representantes de todas las clases de altura en hojarasca y en

madera en descomposición, tanto en *A. araucana* como en *N. pumilio* (**Figura 8**). En el caso del suelo desnudo sólo se encontraron plantas de regeneración menores a 20 cm de altura, en ambas especies, en sitios puntuales.

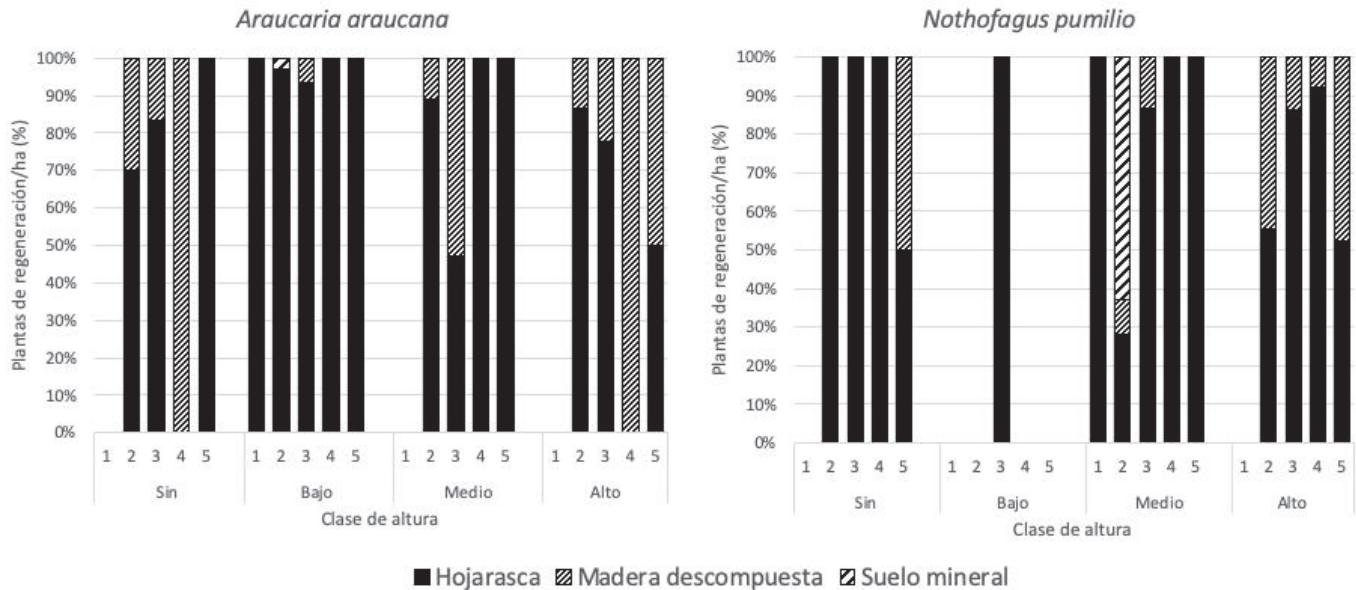


Figura 8. Comparación de la distribución de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes nivel de alteración, desglosado por especie y clase de altura, a partir de columnas 100% apiladas.

Al comparar la densidad de las plantas de regeneración por nivel de alteración, no se observan diferencias significativas en una misma clase de altura (**Tabla 8**). Únicamente se observa una significancia marginal en las plantas de regeneración de *A. araucana* de clase de altura 4 que estarían creciendo sobre hojarasca (Kruskal-Wallis, 8,486, $p < 0,05$). Según el análisis a posteriori esta diferencia ocurre entre el nivel de alteración bajo, donde toda la regeneración estaría creciendo sobre hojarasca, con los niveles sin alteración y alteración alta, donde no se observa regeneración creciendo sobre este micrositio.

En relación a la cobertura arbórea bajo la que crecen las plantas de regeneración, de manera general, se encontraron diferencias significativas en la distribución de la regeneración de *A. araucana*, donde la mayoría de la regeneración se establece en condiciones de cobertura mayor al 67% (Kruskal-Wallis, 19,398, $p < 0,001$). En el caso de *N. pumilio*, no se encontraron diferencias significativas en la distribución de la regeneración por rangos de cobertura (**Tabla 9**).

Tabla 8. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según micrositio en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Especie	Micrositio	Alteración	Plantas de regeneración/ha				
			Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Altura 5
			Cotiledón	<20 cm	21-50 cm	51-100 cm	101-200 cm
		Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	
<i>Araucaria araucana</i>	Hojarasca	Sin	0,00 \pm 0,0	70,00 \pm 52,0	83,33 \pm 28,9	0,00 \pm 0,0 ^a	33,33 \pm 57,7
		Bajo	33,33 \pm 57,7	97,10 \pm 5,0	93,33 \pm 11,6	100,00 \pm 0,0 ^b	66,67 \pm 57,7
		Medio	0,00 \pm 0,0	88,89 \pm 19,3	83,33 \pm 28,9	66,67 \pm 57,7 ^{ab}	66,67 \pm 57,7
		Alto	0,00 \pm 0,0	86,7 \pm 11,6	77,8 \pm 38,5	0,00 \pm 0,0 ^a	33,33 \pm 57,7
		Prueba estadística					
		H	3,000	8,006	0,164	8,486	1,222
		gl	3	3	3	3	3
		p-value	0,392	0,849	0,983	<0,05	0,748
	Madera en descomposición	Sin	0,00 \pm 0,0	30,00 \pm 52,0	16,67 \pm 28,9	33,33 \pm 57,7	0,00 \pm 0,0
		Bajo	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	6,67 \pm 11,5	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0
		Medio	0,00 \pm 0,0	11,11 \pm 19,3	16,67 \pm 28,9	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0
		Alto	0,00 \pm 0,0	13,33 \pm 11,6	22,22 \pm 38,5	33,33 \pm 57,7	33,33 \pm 57,7
		Prueba estadística					
		H	-	1,988	0,164	2,200	3,000
		gl	3	3	3	3	3
	p-value	-	0,575	0,983	0,532	0,392	
<i>Nothofagus pumilio</i>	Hojarasca	Sin	0,00 \pm 0,0	66,67 \pm 57,7	66,67 \pm 57,7	66,67 \pm 57,7	33,33 \pm 57,7
		Bajo	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	33,33 \pm 57,7	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0
		Medio	33,33 \pm 57,7	29,84 \pm 37,1	56,67 \pm 49,3	33,33 \pm 57,7	33,33 \pm 57,7
		Alto	0,00 \pm 0,0	55,56 \pm 50,9	57,41 \pm 51,6	61,54 \pm 53,9	52,38 \pm 50,2
		Prueba estadística					
		H	3,000	3,741	0,902	3,217	2,278
		gl	3	3	3	3	3
		p-value	0,392	0,291	0,825	0,359	0,517
	Madera en descomposición	Sin	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	33,33 \pm 57,7
		Bajo	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0
		Medio	0,00 \pm 0,0	10,03 \pm 16,1	10,00 \pm 10,0	0,00 \pm 0,0	0,00 \pm 0,0
		Alto	0,00 \pm 0,0	44,44 \pm 50,9	9,26 \pm 16,0	5,13 \pm 8,88	47,62 \pm 50,2
		Prueba estadística					
		H	-	5,518	3,932	3,000	4,156
		gl	3	3	3	3	3
	p-value	-	0,138	0,270	0,392	0,245	

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 9. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rango de cobertura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Especie	Cobertura arbórea (%)			Prueba estadística		
	<33	34 - 66	>67	H	lg	p-value
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$			
<i>A. araucana</i>	11,74 \pm 9,04 ^a	24,54 \pm 20,48 ^a	63,715 \pm 20,55 ^b	19,398	2	<0,001
<i>N. pumilio</i>	28,62 \pm 33,10	17,81 \pm 21,56	54,07 \pm 53,33	0,357	2	0,843

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La tendencia general observada en *A. araucana* en relación a la cobertura arbórea se mantiene en los diferentes niveles de alteración, con excepción del nivel de alteración medio, que posee la máxima densidad de regeneración bajo condiciones de cobertura intermedia. En el caso de *N. pumilio*, se observa que la mayor densidad de plantas de regeneración ocurre bajo el 67% de cobertura en los sitios con alteración media y alta. Sin embargo, en los sitios con alteración baja y nula, sólo se registraron individuos creciendo por sobre el 80% de cobertura arbórea, encontrándose una diferencia significativa marginal entre niveles de alteración al comparar la distribución porcentual de las plantas de regeneración de *N. pumilio* que ocurren bajo el 33% de cobertura arbórea (Kruskal-Wallis, 9,703, $p < 0,05$). Pese a este valor, a partir de la prueba U de Mann Whitney no se observaron diferencias entre los grupos (**Tabla 10**).

Tabla 10. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rangos de cobertura en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Especie	Alteración	Cobertura arbórea (%)						
		33>		34-66		<67		
		Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$	Promedio	$\pm \sigma$	
<i>Araucaria araucana</i>	Sin	0,00	$\pm 0,00$	16,67	$\pm 28,87$	83,33	$\pm 28,87$	
	Bajo	17,16	$\pm 11,66$	9,31	$\pm 9,21$	73,52	$\pm 10,51$	
	Medio	9,52	$\pm 16,50$	54,76	$\pm 14,87$	35,71	$\pm 12,37$	
	Alto	20,28	$\pm 4,10$	17,42	$\pm 15,13$	62,30	$\pm 17,51$	
	Prueba estadística							
		H	5,609		5,333		6,243	
		gl	3		3		3	
	p-value	0,144		0,149		0,100		
<i>Nothofagus pumilio</i>	Sin	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	100,00	$\pm 0,00$	
	Bajo	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	100,00	$\pm 57,74$	
	Medio	55,19	$\pm 45,00$	43,54	$\pm 43,10$	1,27	$\pm 2,20$	
	Alto	59,30	$\pm 37,71$	27,70	$\pm 40,46$	15,00	$\pm 25,15$	
	Prueba estadística							
		H	9,703		4,282		5,772	
		gl	3		3		3	
	p-value	<0,05		0,233		0,123		

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

Respecto a la distribución por clase de altura de las plantas de regeneración de *A. araucana* y *N. pumilio* en los diferentes rangos de cobertura arbórea (**Tabla 11**), no existen diferencias significativas al compara entre los diferentes niveles de alteración.

Tabla 11. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por hectárea según rango de cobertura en los diferentes niveles de alteración, desglosado por especie y clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$).

Especie	Cobertura arbórea (%)	Alteración	Plantas de regeneración/ha					
			Altura 1 Cotiledón	Altura 2 <20 cm	Altura 3 21-50 cm	Altura 4 51-100 cm	Altura 5 101-200 cm	
			Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	
<i>Araucaria araucana</i>	<33	Sin	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
		Bajo	0,00 \pm 0,00	9,57 \pm 10,0	18,89 \pm 20,1	50,0 \pm 50,0	33,33 \pm 57,7	
		Medio	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	16,67 \pm 28,9	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
		Alto	0,00 \pm 0,00	21,11 \pm 18,4	0,00 \pm 0,00	33,33 \pm 57,7	16,67 \pm 28,8	
		Prueba estadística						
		H	-	5,518	3,932	4,156	2,212	
		gl	3	3	3	3	3	
		p-value	-	0,138	0,269	0,245	0,530	
		34-66	Sin	0,00 \pm 0,00	23,3 \pm 40,4	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00
	Bajo		0,00 \pm 0,00	9,13 \pm 8,73	13,9 \pm 12,7	11,11 \pm 19,2	0,00 \pm 0,00	
	Medio		0,00 \pm 0,00	42,86 \pm 20,8	66,67 \pm 38,2	52,38 \pm 50,2	50,00 \pm 50,0	
	Alto		0,00 \pm 0,00	6,67 \pm 11,5	44,44 \pm 50,9	0,00 \pm 0,00	16,67 \pm 28,9	
	Prueba estadística							
		H	-	4,273	6,264	4,992	4,689	
		gl	3	3	3	3	3	
	p-value	-	0,233	0,994	0,172	0,196		
	>67	Sin	36,33 \pm 5,2	10,00 \pm 4,10	100 \pm 0,00	33,33 \pm 57,73	33,33 \pm 57,74	
Bajo		33,33 \pm 57,7	81,30 \pm 16,3	67,22 \pm 7,52	38,89 \pm 34,7	33,33 \pm 57,7		
Medio		0,00 \pm 0,00	57,14 \pm 20,8	16,67 \pm 14,4	14,29 \pm 24,7	16,67 \pm 28,9		
Alto		0,00 \pm 0,00	72,22 \pm 9,94	55,55 \pm 50,9	0,00 \pm 0,00	33,33 \pm 57,7		
Prueba estadística								
	H	3,000	2,318	7,145	2,777	0,111		
	gl	3	3	3	3	3		
	p-value	0,392	0,509	0,067	0,427	0,991		
<i>Nothofagus pumilio</i>	<33	Sin	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
		Bajo	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
		Medio	0,00 \pm 0,00	48,51 \pm 47,0	40,00 \pm 36,1	33,33 \pm 57,7	33,33 \pm 57,7	
		Alto	0,00 \pm 0,00	52,8 \pm 50,2	29,26 \pm 30,0	12,82 \pm 22,2	54,00 \pm 39,9	
		Prueba estadística						
		H	-	7,349	5,300	2,212	7,078	
		gl	3	3	3	3	3	
		p-value	-	0,062	0,151	0,530	0,069	
		34-66	Sin	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00
	Bajo		0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
	Medio		0,00 \pm 0,00	50,31 \pm 45,5	23,33 \pm 20,8	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	
	Alto		0,00 \pm 0,00	33,33 \pm 57,7	24,07 \pm 41,7	20,51 \pm 35,5	30,16 \pm 28,7	
	Prueba estadística							
		H	-	3,932	3,932	3,000	6,546	
		gl	3	3	3	3	3	
	p-value	-	0,269	0,269	0,392	0,087		
	>67	Sin	0,00 \pm 0,00	66,67 \pm 57,7	66,67 \pm 57,7	66,67 \pm 57,7	66,67 \pm 57,7	
Bajo		0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	33,33 \pm 57,7	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00		
Medio		0,00 \pm 0,00	1,17 \pm 2,0	3,33 \pm 5,8	0,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00		
Alto		0,00 \pm 0,00	13,89 \pm 24,1	13,33 \pm 23,1	33,33 \pm 57,7	15,87 \pm 16,72		
Prueba estadística								
	H	-	3,740	1,979	4,482	5,546		
	gl	3	3	3	3	3		
	p-value	-	0,291	0,577	0,214	0,136		

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

3.2 Evaluación del establecimiento de plantas de regeneración de *Araucaria araucana* en las inmediaciones del árbol madre en diferentes niveles de alteración del hábitat

A partir del análisis exploratorio de los datos y la correlación de Spearman, se identificó que en el caso de *A. araucana* no existe una relación clara entre las características morfológicas del árbol madre, específicamente el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y el radio de copa, con la distribución de la regeneración que crece en sus inmediaciones (**Figura 9**).

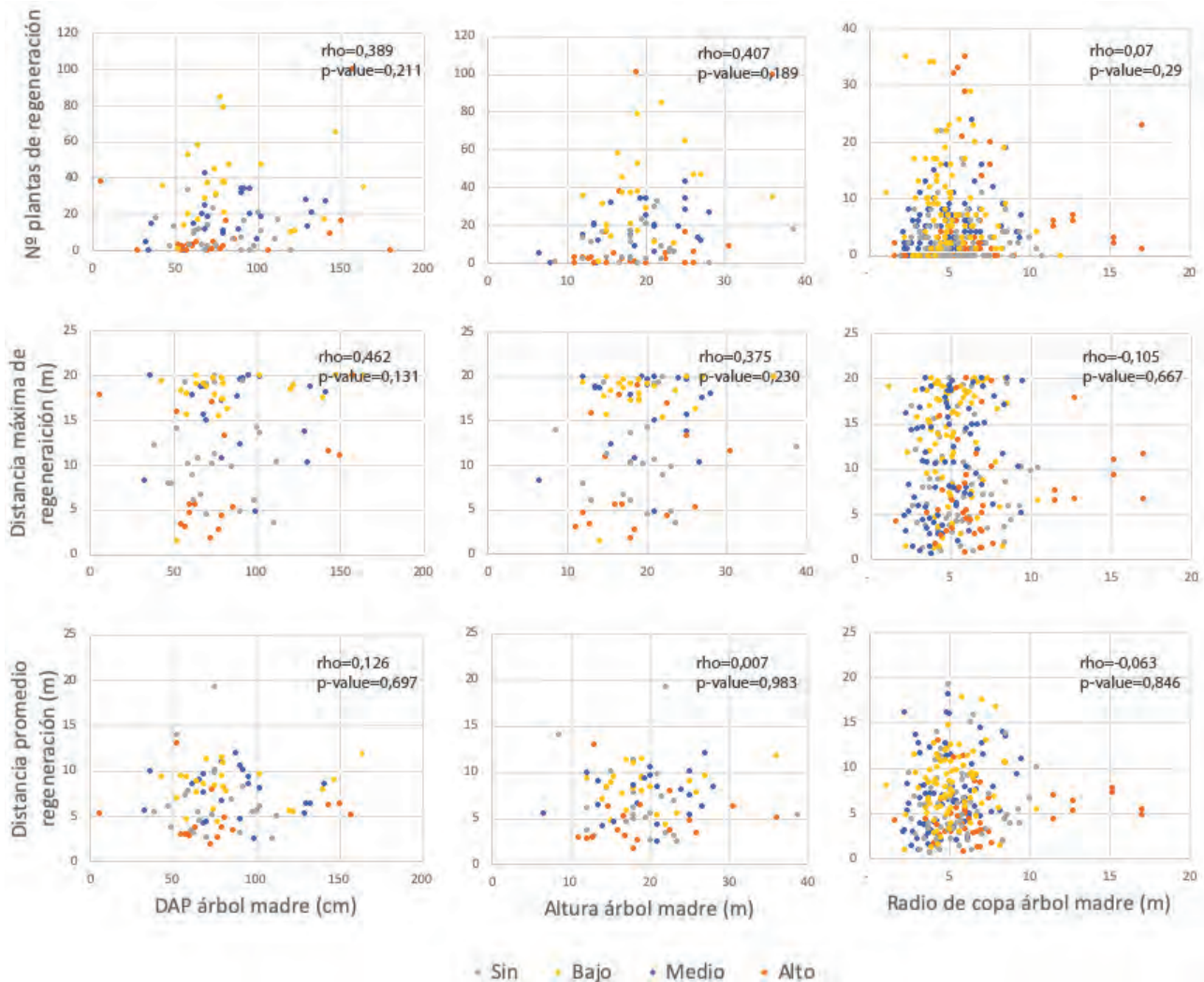


Figura 9. Correlación entre las características morfológicas del árbol madre y la regeneración de *A. araucana* registrada en sus inmediaciones.

Respecto a la relación entre la cobertura arbórea y el comportamiento de la regeneración, se observó una correlación directa significativa que muestra que a medida que aumenta la cobertura aumenta también el número de plantas de regeneración encontrada (**Figura 10**).

Esta relación fue altamente significativa tanto para el total de los datos analizados, como para cada orientación, nivel de alteración y clase de altura por separado (**Tabla 12**), con excepción de los sitios con alteración media y alta. Si bien, todas las clases de altura poseen una correlación significativa con la cobertura arbórea, se puede observar, a través del valor del coeficiente de correlación (rho), que a medida que las plantas crecen la fuerza de esta correlación disminuye.

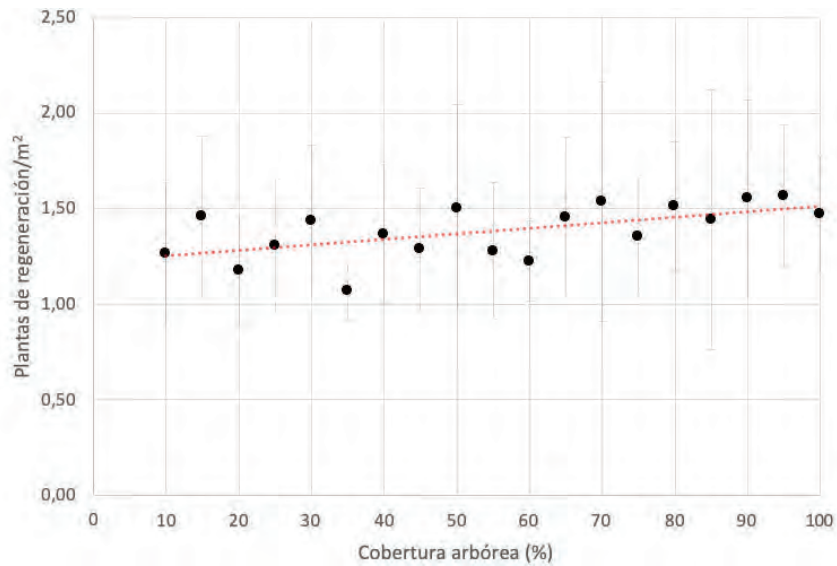


Figura 10. Relación entre la cobertura arbórea y el promedio de la densidad de plantas de regeneración de *Araucaria araucana* encontradas por metro cuadrado en las inmediaciones de los árboles madre muestreados en los sitios de estudio. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

Tabla 12. Correlación de Spearman entre la cobertura arbórea y la densidad de plantas de regeneración encontrada por metro cuadrado en las inmediaciones de los árboles madre muestreados.

Grupos de datos		S	rho	p-value
Todas las plantas de regeneración		428	0,624561	<0,05
Por Orientación	Norte	232,01	0,796485	<0,001
	Sur	207,18	0,818262	<0,001
	Este	261,61	0,770513	<0,001
	Oeste	278,21	0,755955	<0,001
Por Nivel de alteración	Sin	144,84	0,786996	<0,001
	Baja	208,00	0,817544	<0,001
	Media	712,00	0,375439	0,113
Por Altura	Alta	723,45	0,365393	0,124
	<20 cm	181,90	0,840442	<0,001
	21-50 cm	201,59	0,823168	<0,001
	51-100 cm	433,07	0,620115	<0,05
	101-200 cm	304,17	0,733189	<0,001

Rho y S corresponden al coeficiente de correlación de Spearman y al estadístico de Spearman, respectivamente.

En total se encontraron 1.865 plantas de regeneración en las inmediaciones de los árboles madre muestreados en los diferentes niveles de alteración, con 155 plantas de regeneración promedio por sitio, y 5,42 plantas de regeneración promedio por transecto, cuya área es de 40 m² (**Tabla 13**). Al comparar la densidad de plantas de regeneración a nivel de transecto por sitio, se observaron diferencias significativas por nivel de alteración (Kruskal Wallis, 26,515, <0,001). Según el análisis a posteriori todos los grupos son significativamente distintos entre ellos, con excepción del los sitios sin alteración aparente y aquellos con alteración alta, encontrándose una mayor densidad de plantas de regeneración en los sitios con alteración baja y media.

Tabla 13. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración encontrada en las inmediaciones del árbol madre. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Variable	Nº Plantas de regeneración					Prueba estadística		
	Total	Sin	Bajo	Medio	Alto	H	gl	p-value
Suma total	1865	265	833	454	313			
Promedio por transecto (40m ²)	5,42 ± 3,8	2,87 ± 1,7 ^c	9,03 ± 1,7 ^a	5,17 ± 0,6 ^b	5,07 ± 6,9 ^c	26,515	3	<0,001

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Al desglosar por clase de altura, se observa que en general por transecto en las inmediaciones de los árboles madre se registra una mayor cantidad de plantas de regeneración menores a 50 cm, disminuyendo esta cantidad a medida que las plantas aumentan de tamaño. Principalmente en los sitios con alteración baja y media se registra una mayor cantidad de plantas de regeneración menores a 20 cm. Mientras que, en el caso de los sitios sin alteración y alteración alta, se encuentra en promedio un mayor número de plantas de regeneración con alturas entre 21 y 50 cm. Respecto a las diferencias entre nivel de alteración, los sitios sin alteración y aquellos con alteración alta se tienden a diferenciar de manera significativa de los sitios con alteración baja y media en todas las clases de altura, con una mayor densidad de plantas de regeneración observada en los sitios con alteración baja (**Tabla 14**).

Tabla 14. Promedio y desviación estándar del número de plantas de regeneración por transecto (40 m²) en las inmediaciones del árbol madre en los diferentes niveles de alteración, desglosado por clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).

Nivel de alteración	Plantas de regeneración/40m ²				
	Total	<20 cm	21-50 cm	51-100 cm	101-200 cm
	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ
Sin	2,87 ± 1,7 ^c	1,22 ± 0,3 ^b	1,28 ± 1,0 ^{ab}	0,58 ± 0,4 ^b	0,51 ± 0,1 ^c
Bajo	9,03 ± 1,7 ^a	3,94 ± 1,6 ^a	2,19 ± 0,1 ^a	1,74 ± 0,2 ^a	1,69 ± 1,0 ^{ab}
Medio	5,17 ± 0,6 ^b	2,98 ± 0,1 ^a	1,02 ± 0,2 ^b	0,86 ± 0,4 ^{ab}	1,14 ± 0,2 ^b
Alto	5,07 ± 6,9 ^c	1,48 ± 1,8 ^b	2,35 ± 3,1 ^b	1,33 ± 1,6 ^{ab}	0,69 ± 0,6 ^{ac}
Prueba estadística					
H	26,515	20,600	10,300	10,200	15,200
gl	3	3	3	3	3
p-value	<0,001	<0,001	<0,05	<0,05	0,001

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

Considerando la distancia de establecimiento de las plantas de regeneración respecto al árbol madre, en general, la mayor cantidad de plantas de regeneración establecidas se registraron entre los 2 y 5 metros de distancia, reduciéndose a medida que aumenta la distancia al árbol madre (**Figura 11**). La distancia promedio de la plantas de regeneración se encuentra entorno a los 6,5 metros y el 50% de la regeneración se establece en los primeros 6,1 metros de distancia promedio al árbol madre. La distancia mínima y máxima promedio registrada en todos los transectos va de 1,5 a 13,5 metros, respectivamente. Al comparar entre los diferentes niveles de alteración, se observa que las medidas de tendencia promedio entre grupos son significativamente diferentes, con excepción de la distancia mínima (**Tabla 15**). Los resultados del análisis a posteriori muestran que los sitios con alto nivel de alteración se diferencian significativamente de los sitios con alteración baja y media tanto en la distancia promedio (Kruskal Wallis, 16,403, p=0,001), la mediana (Kruskal Wallis, 12,851, p<0,01), y la distancia máxima (Kruskal Wallis, 22,827, p<0,001), presentando distancias significativamente menores en relación a los otros grupos.

Tabla 15. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio en los diferentes niveles de alteración. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori (p < 0,05).

Medidas de tendencia	Total	Distancia al árbol madre (m)				Prueba estadística		
		Sin	Bajo	Medio	Alto	H	gl	p-value
	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ	Promedio ± σ			
Promedio	6,5 ± 3,2	6,3 ± 4,0 ^{bc}	7,6 ± 2,6 ^a	7,2 ± 2,5 ^b	4,3 ± 2,7 ^c	16,403	3	0,001
Mediana	6,1 ± 3,6	6,4 ± 4,3 ^a	7,1 ± 3,1 ^a	6,5 ± 3,4 ^a	3,9 ± 2,7 ^b	12,851	3	<0,01
Mínima	1,5 ± 2,6	2,4 ± 4,5	0,6 ± 0,6	1,1 ± 1,2	1,8 ± 2,2	4,582	3	0,205
Máxima	13,5 ± 5,9	11,2 ± 5,4 ^b	17,3 ± 4,9 ^a	15,7 ± 4,4 ^a	9,1 ± 6,6 ^b	22,827	3	<0,001

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

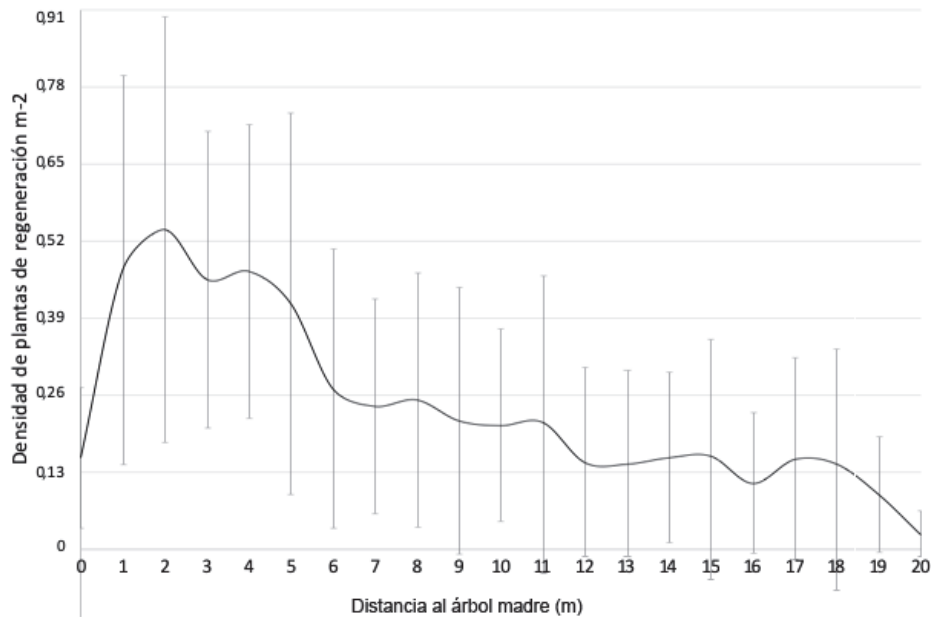


Figura 11. Densidad promedio de plantas de regeneración por metro cuadrado registradas en función de la distancia al árbol madre. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

La **tabla 16** muestra las medidas de tendencia de la distancia promedio de las plantas de regeneración al árbol madre hacia los cuatro puntos cardinales. Al comparar entre orientación no se identificaron diferencias significativas en la distribución de las plantas de regeneración.

Tabla 16. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio, según orientación. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Medidas de tendencia	Distancia al árbol madre (m)				Prueba estadística		
	Norte	Sur	Este	Oeste	H	gl	p-value
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$			
Promedio	5,39 \pm 2,5	5,39 \pm 2,0	6,3 \pm 1,59	5,73 \pm 2,2	1,025	3	0,795
Mediana	4,67 \pm 2,3	4,63 \pm 2,5	5,4 \pm 2,0	5,13 \pm 2,5	1,440	3	0,696
Mínima	0,83 \pm 0,7	0,17 \pm 0,4	0,33 \pm 0,7	0,75 \pm 0,75	1,982	3	0,576
Máxima	13,00 \pm 6,4	14,67 \pm 5,8	16,8 \pm 3,8	15,58 \pm 6,2	0,573	3	0,903

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente.

La **tabla 17**, por otro lado, muestra la distancia promedio de la regeneración por árbol madre hacia los cuatro puntos cardinales para cada nivel de alteración. Se observa que dentro de una misma orientación sólo se encontraron diferencias significativas entre nivel de alteración para las orientaciones sur (Kruskal Wallis, 13,766, $p < 0,01$) y oeste (Kruskal Wallis, 10,203, $p < 0,05$), específicamente, entre los sitios sin alteración y los sitios con alteración baja, donde se registra una mayor densidad de plantas de regeneración en los sitios con alteración baja.

Tabla 17. Promedio y desviación estándar de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio en los diferentes niveles de alteración, según orientación. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Nivel de alteración	Distancia al árbol madre (m)			
	Norte	Sur	Este	Oeste
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$
Sin	5,11 \pm 2,8	3,42 \pm 0,6 ^b	6,42 \pm 1,5	4,92 \pm 2,7 ^b
Bajo	6,68 \pm 2,4	7,06 \pm 1,6 ^a	7,39 \pm 1,2	7,71 \pm 1,8 ^a
Medio	6,61 \pm 2,3	6,79 \pm 1,6 ^a	6,83 \pm 0,9	6,36 \pm 0,3 ^{ab}
Alto	3,18 \pm 1,62	4,30 \pm 1,4 ^{ab}	4,57 \pm 1,6	3,94 \pm 2,36 ^b
Prueba estadística				
H	6,284	13,766	4,558	10,203
gl	3	3	3	3
p-value	0,098	<0,01	0,207	<0,05

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Respecto al número total de plantas de regeneración registradas en función de la distancia al árbol madre, desglosado por clase de altura, se aprecia que las plantas de regeneración menores a 20 cm son las que presentan una mayor abundancia y se concentran en mayor densidad entre los primeros 2 y 5 metros de distancia al árbol madre, reduciéndose a medida que aumenta la distancia. Algo similar ocurre con las plantas que poseen alturas entre los 21 y 50 cm, aunque con una menor densidad. En el caso de las plantas cuya altura se encuentra entre los 51 y 100 cm, y 101 y 200 cm, se observa una baja densidad que se mantiene más o menos constante a través del transecto (**Figura 12**).

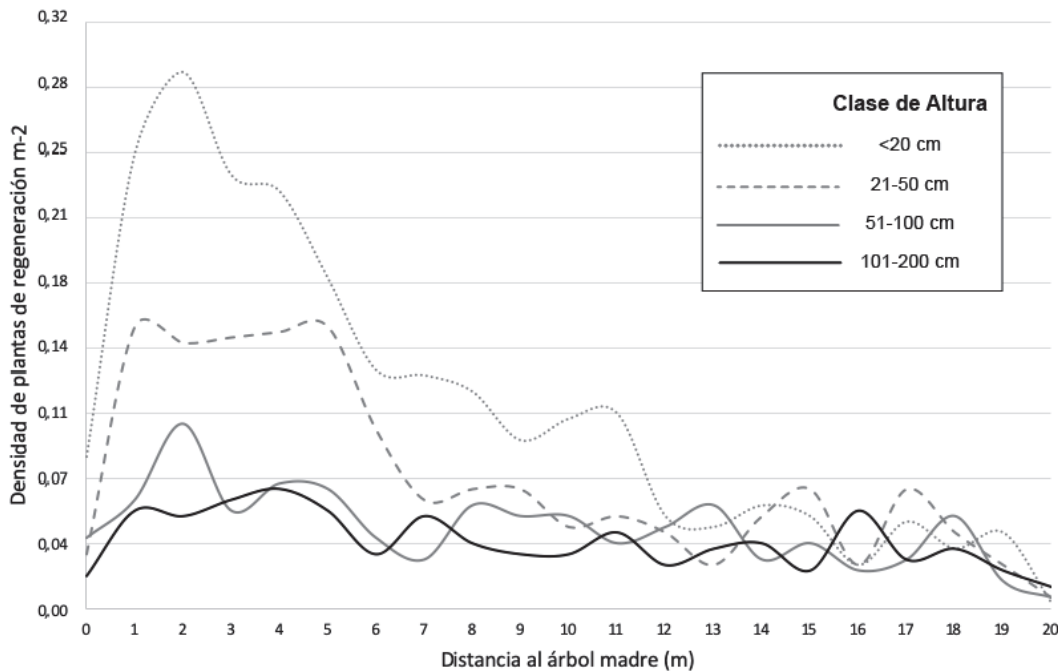


Figura 12. Densidad promedio de plantas de regeneración de diferentes clases de altura en función de la distancia al árbol madre.

Las medidas de tendencia muestran cómo a medida que aumenta la altura de las plantas de regeneración aumenta también la distancia promedio en que se encuentran estas plantas, lo que se explicaría por una distribución más homogénea dentro del transecto, en contraste con las plantas de menor tamaño que se concentran en los primeros metros. Esto también se observa en las otras medidas de tendencia, con excepción de la distancia máxima promedio, que se mantiene más o menos constante entre las diferentes clases de altura. Es así como, por ejemplo, el 50% de las plantas menores a 20 cm se distribuyen en los primeros 6 metros de distancia, mientras que en el caso de las plantas entre 101 y 200 cm de altura estas poseen una mediana promedio alrededor de los 7 metros (**Tabla 18**). Las diferencias entre nivel de alteración son significativas para todas las clases de altura, donde se encuentra una distancia promedio mayor en los sitios con alteración baja y media (**Tabla 19; Figura 13**).

Tabla 18. Promedio y desviación estándar de las medidas de tendencia de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración por sitio, desglosado por clase de altura.

Medidas de tendencia	Distancia al árbol madre (m)				
	Total	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4
	Promedio \pm σ	<20 cm Promedio \pm σ	21-50 cm Promedio \pm σ	51-100 cm Promedio \pm σ	101-200 cm Promedio \pm σ
Promedio	6,5 \pm 3,2	5,6 \pm 1,4	6,56 \pm 2,6	7,32 \pm 3,0	7,52 \pm 2,9
Mediana	6,1 \pm 3,6	5,2 \pm 1,3	6,18 \pm 2,5	7,21 \pm 2,9	7,54 \pm 3,0
Mínima	1,5 \pm 2,6	1,92 \pm 0,9	3,00 \pm 1,7	4,49 \pm 1,9	4,50 \pm 2,3
Máxima	13,5 \pm 5,9	10,48 \pm 3,64	11,08 \pm 4,9	10,52 \pm 4,5	10,58 \pm 4,7

Tabla 19. Promedio y desviación estándar de la distancia al árbol madre de las plantas de regeneración en los diferentes niveles de alteración, desglosado por clase de altura. Prueba de Kruskal Wallis y prueba U de Mann Whitney a posteriori ($p < 0,05$).

Nivel de alteración	Distancia al árbol madre (m)				
	Total	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4
	Promedio \pm σ	<20 cm Promedio \pm σ	21-50 cm Promedio \pm σ	51-100 cm Promedio \pm σ	101-200 cm Promedio \pm σ
Sin	6,3 \pm 4,0 ^{bc}	5,38 \pm 1,0 ^{ab}	5,86 \pm 3,1 ^b	5,94 \pm 3,6 ^b	6,76 \pm 2,4 ^b
Bajo	7,6 \pm 2,6 ^a	6,13 \pm 1,0 ^a	8,28 \pm 1,9 ^a	9,19 \pm 3,0 ^a	10,6 \pm 1,7 ^a
Medio	7,2 \pm 2,5 ^b	6,77 \pm 0,3 ^a	7,70 \pm 1,9 ^{ab}	8,24 \pm 3,1 ^{ab}	7,85 \pm 1,4 ^b
Alto	4,3 \pm 2,7 ^c	3,96 \pm 1,2 ^b	4,30 \pm 2,2 ^c	5,90 \pm 1,8 ^b	4,89 \pm 3,4 ^b
Prueba estadística					
H	16,403	8,055	13,860	11,007	13,539
gl	3	3	3	3	3
p-value	0,001	<0,05	<0,01	0,01	<0,01

H y gl corresponden al estadístico de la prueba H de Kruskal-Wallis y a los grados de libertad, respectivamente. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

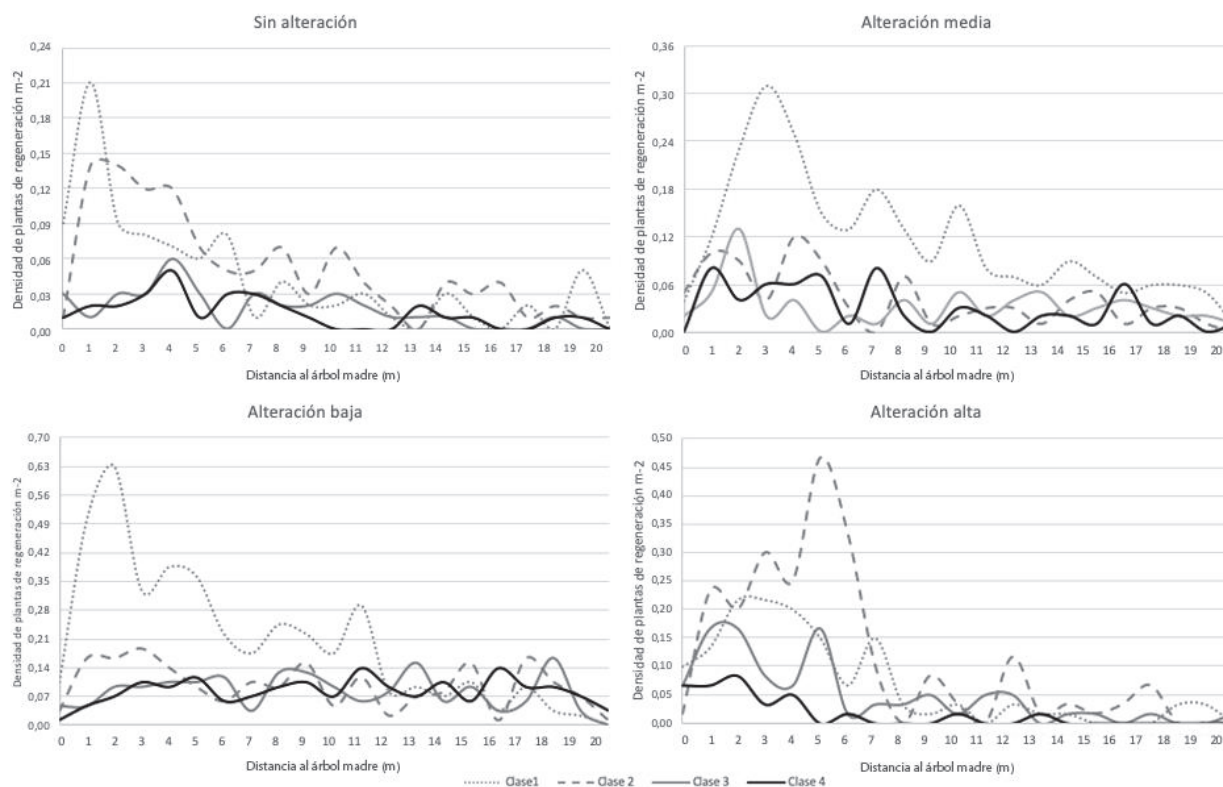


Figura 13. Densidad promedio de las plantas de regeneración de diferentes clases de altura en función de la distancia al árbol madre para los diferentes niveles de alteración.

Respecto a cómo la distribución espacial de la regeneración se ve modulada por las diferentes variables, se observa que la relación entre la densidad de plantas de regeneración respecto a la distancia al árbol madre es modulada significativamente al considerar los diferentes niveles de alteración, los diferentes rangos de cobertura, y al agrupar las plantas de regeneración por clase de altura. No así al considerar las diferentes orientaciones (**Tabla 20, apéndice IV**).

Tabla 20. Efecto de la alteración, cobertura arbórea, clase de altura y orientación en la distribución espacial de las plantas de regeneración en las inmediaciones del árbol madre. Análisis de homogeneidad de la pendiente (waldtest), utilizando un Modelo Lineal Generalizado (GLM).

Efectos	gl	F	p-value
Alteración	3	12,977	<0,001
Cobertura	3	18,056	<0,001
Clase de altura	6	12,546	<0,001
Orientación	3	1,677	0,375
Alteración * Cobertura	15	7,910	<0,001
Alteración * Clase de altura	15	9,268	<0,001
Alteración * Clase de altura * Cobertura	18	10,772	<0,001

Las plantas de regeneración encontradas en las inmediaciones del árbol madre se encuentran creciendo principalmente sobre hojarasca, donde alrededor del 97% de las plantas de regeneración por árbol muestreado se encuentra sobre este sustrato. Mientras que alrededor del 10% de las plantas se encontraría en madera en descomposición. Sólo se identificaron cinco individuos creciendo sobre suelo descubierto en los sitios con alteración media, cuatro de estas plantas menores de 30 cm de altura (**Tabla 21**).

Tabla 21. Promedio y desviación estándar de la distribución porcentual de las plantas de regeneración por transecto (40m²) registrada según micrositio por nivel de alteración.

Micrositio	Nº Plantas de regeneración/40m ²			
	Nivel de alteración			
	Sin Promedio ± σ	Bajo Promedio ± σ	Medio Promedio ± σ	Alto Promedio ± σ
Hojarasca	95,20 ± 4,7	95,99 ± 1,1	98,31 ± 1,5	98,74 ± 2,2
Madera en descomposición	11,11 ± 19,2	6,88 ± 1,8	1,96 ± 3,4	1,47 ± 2,5
Suelo desnudo	0,00 ± 0,0	0,00 ± 0,0	2,48 ± 4,3	0,00 ± 0,0

3.3 Recomendaciones para la conservación de *Araucaria araucana* en bosques mixtos de araucaria-lenga

3.3.1 Resultado de la encuesta

Con el propósito de proponer estrategias de gestión, se complementaron los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2 con una revisión bibliográfica y encuestas dirigidas a académicos y profesionales, así como a miembros de las comunidades locales, que se encuentren vinculados con la especie en cuestión.

La encuesta fue contestada por 12 personas: Tres académicos/as, un investigador/a, tres profesionales que trabajan en el manejo y gestión de esta especie desde el sector privado, dos profesionales que trabajan en el manejo y gestión de esta especie desde el sector público, y tres personas cuyo acercamiento con la especie se da desde las experiencias personales, de oficio y/o culturales. Las respuestas a la encuesta están disponibles en el **apéndice V**.

La encuesta fue dirigida a conocer la percepción de estos actores respecto a la regeneración de *A. araucana*. De la totalidad de los participantes, el 67% considera que existiría una limitación a la regeneración de esta especie. Mientras que el resto de los encuestados considera que no existirían limitaciones que sean percibidas en la regeneración de esta especie, o que esta limitación se observaría únicamente en sitios

específicos, y que puede responder a situaciones naturales, dependiendo del espacio temporal en que se evalúe y de las condiciones de densidad natural, dependientes del rango de distribución estudiado.

La percepción general de los encuestados sobre la regeneración de la especie es que existiría producción de semillas, germinación del piñón y establecimiento de nuevas plantas de manera normal en los bosques, pero una menor capacidad de los individuos jóvenes de desarrollarse hasta edades adultas.

Dentro de los principales factores que se asocian con la limitación de la regeneración de *A. araucana*, se perciben como los más relevantes para la supervivencia de la semilla, y el establecimiento y desarrollo de la plántula, la presencia de fauna introducida y el sobrepastoreo, seguido por el piñoneo. Mientras que las enfermedades se consideran como uno de los principales factores asociados a la mortalidad de individuos jóvenes, junto con el sobrepastoreo, por pisoteo y descalce. La colecta de leña es considerada como un factor que limita la regeneración. Sin embargo, este elemento fue considerado únicamente desde el sector académico.

Además de estos factores que se asocian con la limitación de la regeneración de la especie, los participantes recomiendan incluir la sequía y el cambio climático, y el aumento en la frecuencia y magnitud de los incendios forestales que son susceptibles de afectar a los individuos adultos, además de la competencia con otras especies vegetales, principalmente especies del género *Chusquea*, y la baja presencia de árboles madre producto de la degradación histórica del bosque.

En general, existe un consenso entre los encuestados respecto a la etapa del ciclo de vida de la especie que estaría operando como limitante, donde el 83% considera que esta estaría relacionada con la supervivencia de la semilla, seguido por el establecimiento de nuevas plantas (58%), y la germinación de las semillas (43%).

Finalmente, se les consultó por medidas, resguardos y/o regulaciones que consideran necesarios para la conservación de la especie. La mayoría de las respuestas tienen relación con la restricción del uso ganadero (eliminación o reducción del ganado); la planificación territorial, principalmente por la presión inmobiliaria sobre estos bosques; y la regulación del piñoneo y la erradicación de especies exóticas invasoras, principalmente mamíferos, a través del fomento a la caza de especies especialmente perjudiciales como el jabalí.

Adicionalmente se propone proteger la cama de semillas del bosque y delimitar ciertas zonas dentro del bosque para proteger la germinación y desarrollo de las plantas de regeneración.

3.3.2 Antecedentes sobre la regeneración de la especie

A. araucana es una especie de gran relevancia cultural, económica y ecológica a nivel nacional, que actualmente se encuentra con serios problemas de conservación, como se detalló anteriormente.

Sanguinetti et al. (2023), realizan una extensa revisión bibliográfica dando cuenta, a modo de conclusión, que los bosques de *A. araucana* se encontrarían enfrentando diversos riesgos que amenazan su conservación. Estos, según los autores, serían: a) la pérdida de bosque por el incremento de la urbanización o de incendios cada vez más frecuentes y severos; b) la modificación de las interacciones y procesos biológicos de la trama trófica centralizada en la semilla de *A. araucana*; c) la degradación del sotobosque y del hábitat por herbívora de especies exóticas, por la sobreexplotación del detrito leñoso o por la invasión de pinos que lleva a la homogeneización y simplificación de la biodiversidad; d) la reducción de crecimiento, reproducción y supervivencia del pehuén por cambios en su hábitat, reducción de precipitaciones, aumento de temperatura, ocurrencia de “olas de calor” y aparición de nuevos patógenos vinculados al cambio climático; y por e) la pérdida de diversidad genética, en particular en los bosques de la Cordillera de la Costa, amenazados por la degradación, el aislamiento y la fragmentación del paisaje.

Igualmente señalan los autores que otra de las amenazas tiene relación con la dimensión cultural del ecosistema, por la pérdida del vínculo de las comunidades con los conocimientos, prácticas y creencias ancestrales que permitían una conservación comunitaria de los bosques de *A. araucaria*, lo que provocaría situaciones de manejo poco sustentables.

Esta situación en la conservación de esta especie, ha generado un gran interés tanto público como de los investigadores, lo que ha hecho de *A. araucana* una especie que se encuentra ampliamente estudiada.

Dentro de los antecedentes sobre la regeneración de la especie diversos estudios han ido enfocados a la producción de semillas y a identificar los factores que influyen en la

producción de conos y semillas a escala individual, y poblacional. Estos factores incluyen: las composición y estructura forestal, la exposición solar y la disponibilidad hídrica, así como la frecuencia e intensidad de incendios forestales (Sanguinetti, 2014; Fuentes-Ramírez et al., 2019). Sanguinetti y Kitzberger (2008), se centran en determinar la ocurrencia de eventos de semillazón o masting, que corresponde a la ocurrencia de eventos ocasionales y sincronizados de alta producción de semillas (Kelly, 1994) y cuáles serían los procesos involucrados que determinarían la ocurrencia de estos eventos, siendo la sequía uno de los factores más determinantes.

Según especifica Sanguinetti y Kitzberger (2009a), la dispersión de *A. araucana* se encontraría fuertemente limitada por el tamaño de las semillas, las cuales no alcanzarían distancias mayores a 17 metros del árbol madre, siendo su principal dispersor el viento y la gravedad. Estas cortas distancias de dispersión se mantienen durante los años de masting. Sin embargo, los resultados de este estudio, sugieren que en años con mayor productividad de conos, aumentaría la proporción de semillas sobrevivientes lejos del árbol madre.

La supervivencia de la semilla se encuentra influenciada por factores bióticos (herbivoría, piñoneo) y abióticos (clima, condiciones del suelo, etc). Trabajos como los de Donoso et al. (2014) y Zamorano-Elgueta et al. (2012), establecen una correlación negativa entre el número de familias y el número de cabezas de ganado por hectárea con la permanencia y supervivencia de las semillas, lo que se repite al analizar la regeneración natural de *A. araucana*. Otros estudios abordan aspectos relativos a los métodos de cosecha, uso y comercialización del piñón por parte de las comunidades locales y su impacto en la permanencia de las semillas en el bosque (Cortés et al., 2019; Canale y Ladio, 2020).

La depredación de semillas, por parte de fauna nativa e introducida, representa un tema bien estudiado en la regeneración de *A. araucana* (Sanguinetti y Kitzberger, 2009b; Shepherd y Ditgen, 2013). Sanguinetti y Kitzberger (2009b), encontraron que las tasas de depredación de semillas varían en función de la composición y estructura de la vegetación, principalmente del dosel del bosque. Según los autores, las condiciones del micrositio ejercen una influencia significativa en los depredadores, con una alta depredación crónica de roedores bajo una vegetación densa, y una depredación moderada (10-30% de las semillas disponibles) por jabalí en micrositios con escasa vegetación.

La depredación de semillas post dispersión puede imponer limitaciones graves a la regeneración, aunque su impacto final podría estar modulado por factores ambientales y la

composición del gremio de granívoros. Diversos estudios examinan el comportamiento de los depredadores nativos que desempeñan un papel crucial en la post dispersión de *A. araucana* (Shepherd et al., 2008; Díaz et al., 2012), donde tanto los roedores nativos como la cachaña (*Enicognathus ferrugineus*) son capaces de movilizar semillas varios metros alejados del árbol madre y el área abarcada por la lluvia de semillas. En el caso de la cachaña, según señalan Tella et al. (2016), si bien no se ha registrado que esta especie disperse semillas mientras se alimenta de conos femeninos, sí se ha registrado esta dispersión cuando se alimentan de semillas disponibles en el suelo, donde transportan las semillas a perchas altas para manipularlas, moviendo las semillas de 5 a al menos 50 m más lejos del área abarcada normalmente por la lluvia de semillas.

Investigaciones como las de Shepherd y Ditgen (2005) y Tella et al. (2016), discuten cómo la presencia de fauna introducida es capaz afectar a la fauna nativa a través de la competencia, generando así impactos tanto directos como indirectos en la regeneración de *A. araucana*, a través de una menor supervivencia de las semillas en el bosque y una menor post dispersión debido a la reducción de los depredadores nativos, respectivamente. Por otro lado, Speziale et al. (2018), analizan las interacciones indirectas entre la fauna nativa y las comunidades locales, evidenciando cómo la cachaña es capaz de desincentivar la recolección de piñones a través del consumo incompleto de las semillas, aumentando así la regeneración de la especie en el bosque.

Respecto a la germinación se ha estudiado la capacidad de las semillas para germinar bajo diferentes escenarios, tales como cambios en las temperaturas, características del suelo y eventos de fuegos de diferente intensidad (Cóbar-Carraza et al., 2015; Fuentes-Ramírez et al., 2019; Chávez et al., 2020). Los estudios han identificado que el impedimento mecánico para la protrusión de la radícula resultaría ser el factor determinante del éxito de este proceso (Duplancic et al., 2015), y que la disponibilidad hídrica, crucial para lograr la imbibición y ruptura de los tegumentos de la semilla, se convierte en un factor limitante en ambientes xéricos, aunque no así en ambientes húmedos.

Fuentes-Ramírez et al. (2019), observaron que la producción de semillas, viabilidad y germinación de las semillas de *A. araucana* es alta luego de perturbaciones por fuego (>60%), sugiriendo una buena recuperación de la especie, especialmente en el primer año posterior al incendio. Esto igualmente es observado por González et al. (2010a), quienes observan un establecimiento exitoso luego de incendios de diversas intensidades o

severidades, tanto por semillas como por rebrotes vegetativos de individuos jóvenes afectados por los incendios. Sin embargo, esta capacidad de recuperación es susceptible de verse afectada por prácticas de consumo como el madereo de aprovechamiento, según señalan González y Veblen (2007), y por las altas temperaturas registradas en incendios de alta severidad, capaces de inhibir la germinación de las semillas de *A. araucana*, cuando estas superan los 100°C (Cóbar-Carraza et al., 2015).

Relacionado con el reclutamiento y supervivencia de los nuevos individuos, varios estudios se centran en la tolerancia de las plantas de regeneración a diferentes factores tanto bióticos como abióticos. Respecto a las bajas temperaturas, Arco-Molina et al. (2015) señalan que las plantas de regeneración de *A. araucana* son resistentes a temperaturas bajo 0° C. Sin embargo, al exponerse a temperaturas menores de -10° C por un tiempo prolongado las plantas de regeneración comienzan a presentar daños foliares y hasta muerte total del follaje. Estudios similares se han realizado respecto a la capacidad de las plantas de regeneración para sobrevivir al déficit hídrico, encontrando que las plantas de regeneración de *A. araucana* poseen mecanismos fisiológicos e interacciones simbióticas con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que les permiten resistir a períodos cortos de sequía, más no así a periodos prolongados (Rivas-Iriarte, 2020; Papú et al., 2021).

Cada vez más estudios se enfocan en la situación actual de *A. araucana*, donde una gran parte de las poblaciones presentes tanto en Chile como en Argentina muestran un daño foliar sustancial (DFA). Saavedra y Willhite (2017) sugieren que los síntomas se alinean con indicadores característicos de estrés fisiológico en la especie debido a la insuficiente humedad o al calor excesivo, asociado a la caída de las hojas menos productivas para reducir el área de transpiración foliar y un aumento en la incidencia de agentes secundarios.

3.3.3 Propuesta de gestión

Los sitios de estudio se caracterizan por presentar diferentes niveles de alteración. Pese a que no se observan diferencias significativas en la composición de las plantas de regeneración de especies leñosas a nivel de superficie, esto si se observa en las inmediaciones del árbol madre en las plantas de regeneración de *A. araucana* en los diferentes niveles de alteración.

Considerando que las araucarias adultas producen entre 2 y 45 conos femeninos por ciclo reproductivo (Sanguinetti y Kitzberger, 2008), y que cada cono puede contener hasta 300

semillas (Caro, 1995), se puede inferir la existencia de una limitación importante para la regeneración de esta especie, sea esta limitación natural o no, en todos los sitios analizados, independientemente del nivel de alteración, incluso dentro de las áreas silvestres protegidas. Esto es concordante con lo observado por Donoso et al. (2009), quienes establecen que el porcentaje de semillas que quedan en el bosque a partir de la temporada anterior y que germinan, fluctúa entre 1% y 3%, en sitios estudiados dentro de la Región de la Araucanía.

Según los resultados obtenidos, los sitios con bajo y medio nivel de alteración poseen una mayor densidad de plantas de regeneración de *A. araucana* en las inmediaciones del árbol madre, en relación a aquellos sitios sin alteración aparente y con altos niveles de alteración, siendo los sitios sin alteración los que presentan una menor densidad de regeneración por transecto. Esta diferencia no sólo se observa en la densidad de las plantas de regeneración, sino también en la distribución de estas, observándose mayores distancias promedios entre las plantas de regeneración y el árbol madre en los sitios con mayor número de plantas de regeneración.

Respecto a los sitios con menor densidad de plantas de regeneración, las distancias registradas entre las plantas de regeneración y el árbol madre fueron significativamente menores, especialmente en aquellos sitios con alteración alta, pese no ser este el sitio con menor densidad de plantas de regeneración. En promedio la distancia máxima registrada en los sitios con alteración alta fue casi la mitad de la observada en los sitios con alteración baja.

El patrón espacial de establecimiento de las plantas de regeneración observado en este estudio, que se caracteriza por una mayor concentración de plantas de regeneración a distancias intermedias alrededor del árbol madre, se manifiesta consistentemente en las diferentes orientaciones y niveles de alteración analizados. Sin embargo, esta configuración espacial cambia significativamente en función de la clase de altura de las plantas de regeneración.

Los patrones espaciales de supervivencia de las plantas de regeneración en las inmediaciones del árbol madre pueden proporcionar información valiosa para la priorización de esfuerzos de conservación según los diferentes niveles de alteración del sitio en cuestión. Al examinar las plantas de regeneración según su clase de altura, se evidencia que aquellas con alturas inferiores a 50 cm siguen el patrón de establecimiento predicho

por el modelo de Janzen-Connell (Janzen, 1970; Connell, 1971), con un peak en la densidad de plantas de regeneración a distancias intermedias del árbol madre. Sin embargo, las plantas con alturas mayores a 50 cm, presentan una densidad relativamente constante a lo largo del transecto, manteniendo una baja densidad de plantas de regeneración por metro cuadrado. Este patrón podría sugerir una supervivencia diferencial de las plantas de regeneración a lo largo del transecto, siendo esta menor a menores distancias.

Esta supervivencia diferencial es observada por Sanguinetti y Kitzberger (2009a), quienes a partir de sus datos infieren la ocurrencia de procesos de mortalidad posteriores al establecimiento de plántulas de *A. araucana*. Estos procesos, según los autores, serían dependientes de la edad y la distancia, causado por factores no relacionados con la granivoría. Entre estos factores se incluye el estrés hídrico y/o lumínico (Papú et al 2021; Lusk et al., 2006), el daño mecánico derivado de la caída de ramas del árbol madre (Sanguinetti, 2008), y una mayor incidencia de incendios forestales de baja intensidad debido a la acumulación de combustible en el suelo en las cercanías de las araucarias adultas (González et al., 2005).

La importancia relativa de los procesos demográficos en el crecimiento poblacional de las especies vegetales puede variar según la ubicación de establecimiento de sus individuos, debido a las diferentes condiciones ecológicas (Howe y Miriti, 2004). Esto se observa en el caso de la supervivencia de las plantas de regeneración de *A. araucana* en función de la distancia al árbol madre, según se infiere de los resultados obtenidos. Aunque faltan estudios específicos destinados a evaluar la supervivencia, es posible inferir, basándose en estos resultados, que esta podría ser mayor a mayores distancias. Es así como, aunque una menor proporción de plantas de regeneración logra establecerse a mayores distancias del árbol madre, las probabilidades que tienen estas plantas de sobrevivir y contribuir al crecimiento poblacional es mayor en comparación a las plantas de regeneración que se establecen a menores distancias.

Se ha documentado que estos patrones descritos en la dispersión de las semillas de *A. araucana* se mantiene durante los años de masting (Sanguinetti y Kitzberger, 2009a). Sin embargo, los autores señalan que en años con mayor productividad de conos aumentaría también la proporción de semillas sobrevivientes lejos del árbol. Asumiendo esta supervivencia diferencial, enfocar los esfuerzos en mejorar la supervivencia tanto de las semillas como de las plantas de regeneración a distancias mayores al árbol madre podrían

llegar a generar un cambio relevante en el crecimiento poblacional de esta especie, sobre todo en los años de mayor productividad de conos.

Según la literatura, las plantas de *A. araucana* son capaces de establecerse en cualquier tipo de sustrato y bajo cualquier tipo de exposición (Rechene et al., 2003; Sanguinetti y Kitzberger, 2009a). Por lo anterior, las estrategias de gestión de la regeneración de esta especie no requerirían del uso de plantas nodrizas ni enmiendas para mejorar la germinación y establecimiento de las nuevas plantas. Como se observa en función de la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos en este proyecto, *A. araucana* no presentaría serias limitaciones asociadas a la producción de semillas y la nacencia de nuevos individuos, lo que se evidencia en base a la distribución por altura de las plantas de regeneración, la cual se asemeja a una “J” invertida horizontalmente en todos los niveles de alteración. Sin embargo, si tendría problemas con la capacidad de la semilla para permanecer en el bosque, y con la supervivencia de las planta de regeneración, cuya principal amenaza es la presencia de especies introducidas, la ganadería y la sobreexplotación del piñón, al reducir la cantidad de semillas en el bosque y al dañar las plantas de regeneración por pisoteo (Sanguinetti, 2008).

Igualmente, se ha documentado que el aprovechamiento maderero de las especies acompañantes de la araucaria en estos bosques facilita el desplazamiento de las personas y los animales introducidos en el espacio, aumentando el pisoteo, y facilitando la depredación y recolección del piñón (Pulido, 2002; Sanguinetti, 2008; Donoso et al., 2009).

Dado lo anterior, se propone adoptar una estrategia pasiva dirigida a la reducción o eliminación de los factores de disturbio (Trujillo, 2017), para la protección de la regeneración de *A. araucana* en los bosques mixtos de araucaria-lenga, específicamente en aquellos sitios que cuentan con alteración. De esta manera, y para evitar la exclusión de las comunidades en el bosque, se recomienda generar pequeños parches de exclusión dentro de los bosques de araucarias (**Figura 14**), en las cercanías de los árboles madre, que limiten el desplazamiento del ganado y la fauna exótica, y la recolección de piñones y leña, para reducir la extracción de semillas y evitar el daño mecánico en las plantas de regeneración.

Según los resultados obtenidos, y asumiendo una supervivencia diferencial dentro del transecto, se recomienda entonces centrar los esfuerzos de conservación en resguardar la regeneración que se establece a mayores distancias, donde se compense la baja cantidad

de establecimiento con una mayor probabilidad de supervivencia de las plantas de regeneración.

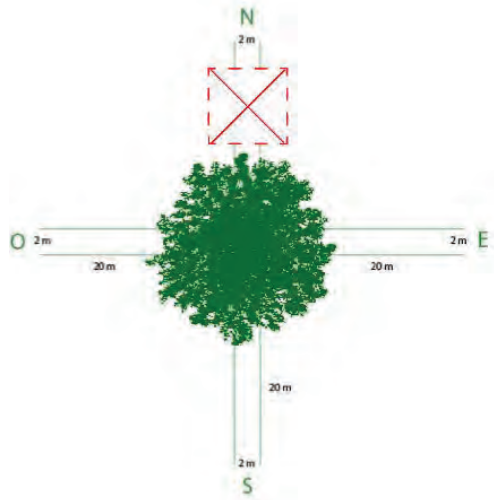


Figura 14. Ejemplificación de los parches de exclusión propuestos (en rojo) en las inmediaciones del árbol madre.

Estos parches de exclusión deben ir dirigidos tanto a la fauna introducida como a las personas que hacen uso de estos bosques:

- Elementos disuasivos para el ganado y la fauna introducida

El uso de elementos disuasivos en el paisaje para el ganado y la fauna introducida podrían ser barreras visuales, físicas, eléctricas, quimiosensoriales o táctiles. Los elementos disuasivos más utilizados en la conservación son las barreras físicas, pudiendo estar compuestos por cercos (Pérez-Quezada y Bown, 2015) o por elementos que dificulten el desplazamiento, como el uso de rocas y troncos dispuestos en el suelo.

- Elementos disuasivos para personas

El uso de elementos disuasivos en el paisaje para las personas requiere de un trabajo mayor. En estos se debe incorporar además de elementos físicos, elementos visuales junto con estrategias comunicacionales dirigidas a la sensibilización para lograr que efectivamente las personas respeten esta prohibición (Winter, 2006).

El tamaño y número de los parches de exclusión por bosque debe ser definido tomando en consideración los impactos que este tipo de estrategias puede generar en las comunidades aledañas, ya sean impactos económico, en el sentido comercial y de subsistencia, e

impactos bioculturales, en el sentido espiritual, social, ecológico y alimentario (Cortés et al., 2019).

Respecto a los sitios sin alteración aparente, estos pese a no ser los sitios con las menores distancias de establecimiento registradas, resultan ser los sitios con menor densidad de plantas de regeneración. Dado que estos sitios son aparentemente los menos perturbados, es posible que estos resultados se asocien con la producción de semillas de los árboles semilleros. Según señalan Caro (1995) y Donoso et al. (2009), la participación de los árboles semilleros en la producción de semillas se vería influenciada por los niveles de competencia interna y por la estructura del bosque. En ambos trabajos observaron que al realizarse intervenciones silvícolas dirigidas a aumentar la disponibilidad de luz que incide sobre las copas de las araucarias, mejora la producción de conos, evolucionando hacia niveles de participación más altos de los árboles semilleros en la producción de semillas, especialmente en años de masting.

Adicionalmente, se ha documentado que, pese a que *A. araucana* se comporta como una especie sombra tolerante durante sus primeros estadios, la regeneración de *A. araucana* puede verse limitada debido a una mayor densidad y cobertura del dosel, en bosques mixtos donde la especie domina en conjunto con especies del género *Nothofagus* (Veblen et al., 1995; Drake et al., 2012). Esto podría explicar por qué pese a tener una mayor densidad de árboles de *A. araucana*, los sitios sin alteración presentan una menor cantidad de plantas de regeneración por árbol madre, en comparación con los sitios con alteración alta.

Dado lo anterior, en sitios sin alteración aparente se recomienda realizar estudios dirigidos a evaluar de qué manera un manejo silvícola con cortas de protección son capaces de incidir en la densidad y distribución de la regeneración de *A. araucana* en las inmediaciones del árbol madre.

Finalmente, y como se discutirá más adelante, los sitios que cuentan con una mayor densidad de individuos semilleros tienden a contar también con una mayor densidad de plantas de regeneración por árbol madre. Debido a esto, resulta relevante adoptar estrategias dirigidas a establecer nuevos árboles madre en el territorio, de manera de aumentar el porcentaje de semillas que quedan en el bosque y que germinan, aportando al establecimiento de nuevas plantas de regeneración.

4. DISCUSIÓN

Los procesos que condicionan la regeneración de las especies vegetales se encuentran íntimamente ligados a la disponibilidad de microhábitats adecuados, por lo que las posibilidades de supervivencia de las plantas de regeneración estará influido por la distribución espacial de las semillas y plantas de regeneración entre los diferentes micrositios presentes en el bosque (Rey y Alcántara, 2000; Nathan y Muller-Landay, 2000). Por consiguiente, los cambios generados a nivel de microhábitat debido a alteraciones humanas son susceptibles de limitar la regeneración de las especies, lo que destaca la importancia de comprender y gestionar estos espacios de manera adecuada durante los esfuerzos de conservación.

En este estudio, se identificó la presencia de plantas de regeneración de *A. araucana* y *N. pumilio* en todos los niveles de alteración analizados en el bosque mixto de araucaria-lenga, sin encontrarse diferencias significativas en la densidad de estas plantas por hectárea entre los diferentes niveles de alteración a nivel de superficie, lo que podría estar vinculado a una alta variabilidad interna de los grupos de estudio. En general, se estima un promedio de 2.455 plantas de regeneración de *A. araucana* por hectárea, valor similar a los observados por Donoso et al. (2014) en la Comuna de Lonquimay, quienes estimaron un valor promedio de 2.467 plantas de regeneración/ha. En el caso de *N. pumilio* se estimó un promedio de 5.076 plantas de regeneración, muy por debajo de lo registrado por Silva (2017), quien calcula una densidad de 12.242 individuos en la Comuna de Cunco.

La regeneración a nivel de superficie se caracteriza por una alta variabilidad que se explica a través de todos aquellos componentes bióticos y abióticos sitio específicos que participan en la diferenciación del nicho y que determinan una alta heterogeneidad del suelo a pequeña escala (Lechowics y Bell, 1991; Bailey et al., 2012). Esta alta variabilidad junto con el tamaño de las parcelas (4 m²) y el número de réplicas, pueden haber dificultado la observación de patrones espaciales a nivel de paisaje, al momento de caracterizar y analizar la regeneración natural arbórea en bosques de araucaria-lenga con diferente nivel de alteración.

Las plantas de regeneración de *A. araucana* se establecen en las inmediaciones del árbol madre, por lo que su presencia depende de la existencia de árboles semilleros en los sitios de estudio. Al momento de evaluar el establecimiento de las plantas de regeneración de *A.*

araucana en las inmediaciones del árbol madre, se encontraron en promedio 5,42 plantas de regeneración por transecto. Este valor varió significativamente entre niveles de alteración, siendo mayor el número registrado en los sitios con alteración baja (N = 9,03), y menor en aquellos sitios sin alteración aparente (N = 2,87).

Estos resultados son consistentes con los estudios de Veblen (1982) y González et al. (2005, 2010b), quienes determinan que *A. araucana* presenta una dinámica de regeneración dependiente de regímenes de perturbaciones para la generación de claros. Por lo anterior, en aquellos sitios donde existe una contención de las perturbaciones, como lo son los sitios sin alteración aparente ubicados dentro de áreas silvestres protegidas, se espera una menor regeneración de la especie.

Según señalan White y Jentsch (2001), la ausencia del agente de disturbio puede constituir incluso una alteración del hábitat en aquellos ecosistemas que han evolucionado bajo condiciones de disturbios frecuentes, como es el caso de *A. araucana* en bosques mixtos de araucaria-lenga. La ausencia de disturbios sería capaz de generar cambios significativos en la composición y estructura del ecosistema forestal, siendo necesaria la ocurrencia de ciertos niveles de alteración para la regeneración y permanencia de la especie en el territorio.

El registro de una mayor densidad de plantas de regeneración en sitios con alteraciones bajas y medias, en comparación con sitios sin alteración aparente o con altos niveles de alteración, también son consistentes con la hipótesis de la perturbación intermedia (Connell 1978). Según esta hipótesis, que postula una relación no lineal entre la diversidad de especies y la intensidad/frecuencia de las perturbaciones, la diversidad de especies suele ser mayor bajo condiciones intermedias de perturbación. Esto sugiere que cuando la intensidad y frecuencia de las perturbaciones son muy altas, el número de especies tiende a descender dado que muy pocas especies son capaces de tolerar ese grado de alteración. Por otro lado, cuando las perturbaciones son inexistentes o muy poco frecuentes y/o de muy baja intensidad, los ecosistemas suelen ser dominados por un número reducido de especies de sucesión tardía, que son capaces de establecerse bajo su propia cobertura. De esta manera, en sitios donde las perturbaciones se vuelven inexistentes o muy poco frecuentes y/o de muy baja intensidad, se verían eventualmente excluidas o mermadas aquellas especies que no son capaces de reproducirse y establecerse adecuadamente en

condiciones de sombra, como es el caso de *A. araucana* (Veblen et al., 1995; Drake et al., 2012) dentro de los sitios sin alteración aparente.

En los sitios estudiados se observó que respecto a las plantas de regeneración en las inmediaciones de los árboles madre, tanto la distancia al árbol madre, como la cobertura, la alteración y la edad de la planta de regeneración serían los principales factores que modulan su densidad, sin que se hubieran identificado influencias significativas en relación a la orientación y las características morfológicas individuales del árbol madre.

Respecto a la cobertura, se observa una correlación directa y estadísticamente significativa, donde a medida que aumenta la cobertura aumenta también el número de plantas de regeneración encontradas. Según Sanguinetti y Kitzberger (2009a) y Rechene et al. (2003), *A. araucana* tiene la capacidad de establecerse en cualquier tipo de micrositio y nivel de exposición cuando la granivoría es excluida o minimizada. En base a lo anterior, es posible que esta relación observada entre la cobertura y la densidad de plantas de regeneración se explique en función de la predación de semillas. En este caso, el reclutamiento de plántulas estaría más limitado por la producción y predación de semillas (Sanguinetti y Kitzberger, 2009b), que por factores abióticos reguladores del establecimiento, lo que podría tener relación con el tamaño de la semilla, como se ha identificado en otras especies con semillas grandes como *Quercus rubra* (García y Houle, 2005).

Respecto a la distancia de las plantas de regeneración al árbol madre, se identificó una distancia promedio de la regeneración de 6,5 metros, y una distancia máxima promedio de 13,5 metros. La mayor densidad de plantas de regeneración se registró entre los primeros 2 y 5 metros, disminuyendo gradualmente a medida que la distancia al árbol madre aumenta. Este patrón de distribución es consistente con las observaciones de Sanguinetti y Kitzberger (2009a), quienes también reportaron una mayor densidad de plantas de regeneración entre los 3 y 5 metros de distancia al árbol madre, con una distancia promedio máxima de 13 metros. De acuerdo con estos autores, dada esta distribución, *A. araucana* se ajustaría al modelo de Janzen-Connell (Janzen, 1970; Connell, 1971), donde el peak de establecimiento se posiciona alejado del árbol madre, a distancias intermedias, producto del balance entre la dispersión y la depredación de semillas alrededor del semillero.

Los modelos de dispersión madre-plántula postulan que la depredación puede influir en el patrón inicialmente observado de la lluvia de semillas en las proximidades de los árboles semilleros. Los modelos como los de Janzen-Connell, Hubbell y McCanny (Janzen, 1970;

Connell, 1971; Hubbell, 1980; McCanny, 1985), examinan los patrones de establecimiento de las plantas de regeneración en función de los patrones de dispersión de las semillas y su posterior depredación. Esta última concentrada en los primeros metros alrededor del árbol madre.

Es así como McCanny (1985), postula que la mayor dispersión en las cercanías del árbol madre compensa las altas tasas de depredación en ese sector, produciendo una densidad constante de establecimiento de plantas de regeneración en las inmediaciones del árbol. Por otro lado, el modelo de Janzen (1970) y Connell (1971) sugiere que la dispersión compensa las altas tasas de depredación de semillas, pero solo a distancias intermedias del árbol madre, donde la depredación no es tan pronunciada, permitiendo una mayor establecimiento de plantas de regeneración. Por otro lado, Hubbell (1980) plantea que, a pesar de la mayor depredación cercana al árbol madre, la abundancia de semillas en esa zona puede superar la presión generada por la depredación, proponiendo una reducción constante del establecimiento con la distancia.

El patrón espacial de establecimiento observado en este estudio, que se caracteriza por una mayor concentración de plantas de regeneración a distancias intermedias alrededor del árbol madre, se manifiesta consistentemente en las diferentes orientaciones y niveles de alteración. Sin embargo, cambia significativamente respecto a la clase de altura de las plantas de regeneración, donde las plantas menores a 50 cm de altura siguen el patrón de establecimiento predicho por el modelo de Janzen-Connell, pero las plantas con alturas mayores a 50 cm presentan una densidad relativamente constante, manteniendo una baja densidad a lo largo del transecto.

Según las estimaciones de edades proporcionadas por González (2001), las plantas de regeneración de *A. araucana* que alcanzan los 50 cm de altura poseen aproximadamente 20 años. Recién a esa edad los patrones de establecimiento madre-plántula pierden la configuración predicha por Janzen-Connell, posiblemente inducido por la ocurrencia gradual pero persistente de eventos de mortalidad reiterados en las cercanías al árbol madre.

Como se mencionó anteriormente, esta supervivencia diferencial es observada por Sanguinetti y Kitzberger (2009a), quienes a partir de sus datos infieren la ocurrencia de procesos de mortalidad posteriores al establecimiento de plántulas de *A. araucana*, los que

serían dependientes de la edad y la distancia, causado por factores no relacionados con la granivoría.

En cuanto a la distancia al árbol madre, la distribución de las plantas de regeneración cambia significativamente según los niveles de alteración del sitio. Las medidas de tendencia de la distancia (promedio, mediana) resultaron ser significativamente distintas entre los diferentes niveles de alteración, destacándose aún más la diferencia en las distancias máximas observadas. En este aspecto, los sitios sin alteración y aquellos con alteración alta muestran una distancia máxima de establecimiento significativamente menor en comparación al resto de los grupos.

En el caso de los sitios con alteración alta, es probable que las menores distancias de establecimiento observadas entre las plantas de regeneración y el árbol madre tengan relación con la apertura de la vegetación, lo que es capaz de facilitar el desplazamiento dentro del bosque. Según es discutido por Donoso et al. (2009), esto sería capaz de aumentar el daño mecánico producido sobre los brinzales, principalmente por el pisoteo, además de favorecer el tránsito y acceso del ganado, incrementándose el consumo de piñones. Por otro lado, en el caso de los sitios sin alteración, es posible que esto se deba a la baja producción de semillas por parte de los árboles semilleros, generado por una baja incidencia de la luz, como se discutió anteriormente.

Los resultados mostraron una menor densidad de plantas de regeneración en las inmediaciones del árbol madre en los sitios con alteración alta y en aquellos sitios sin alteración aparente, y un mayor número de plantas de regeneración en los sitios con alteración baja y media. Estos resultados coinciden con los datos de área basal y número de individuos de *Araucaria* registrado por Hernández et al. (2022) en los sitios de estudio, donde se observa una mayor densidad de árboles y área basal de individuos con DAP mayores a 20 cm en los sitios con alteración baja y media, y una menor densidad en los sitios con alteración alta y sin alteración aparente. Si bien no se cuenta con la información específica de cuántos de estos individuos son árboles femeninos que participan de la producción de semillas, se estima que la relación entre árboles masculinos y femeninos es de aproximadamente 0,87 (FIA, 2007).

Brocardo et al. (2018), en su estudio sobre *Araucaria angustifolia*, observaron una correlación entre el número de plantas de regeneración encontrado y el número de árboles femeninos en los sitios de estudio. Según señalan, en aquellos sitios con mayor número de

árboles femeninos existiría una mayor producción de semillas, lo que en consecuencia generaría una disminución de la proporción de semillas depredadas por el saciamiento de los depredadores, permitiendo un mayor establecimiento de plantas de regeneración en el bosque. Conocer con mayor detalle esta relación entre la densidad de árboles semilleros y de plantas de regeneración de *A. araucana* es crucial, ya que ayudaría a discernir si los cambios observados en la regeneración de *A. araucana* en este estudio son impulsados principalmente por la alteración del hábitat en sí misma o por el número y la distribución de los árboles productores de semillas.

Igualmente, Sanguinetti (2014) argumenta que, pese a la sincronía reproductiva es posible que parches más pequeños tengan por unidad de superficie una mayor presión de granivoría y, por lo tanto, menores niveles de regeneración. Dado que este estudio no considera la continuidad del hábitat donde se insertan los sitios de estudio, no es posible concluir al respecto. Sin embargo, resulta interesante incorporar esta variable al momento de evaluar los efectos de la alteración del hábitat en la regeneración de *A. araucana*.

5. CONCLUSIONES

La alteración del hábitat en los bosques mixtos de araucaria-lenga modifica el establecimiento de las plantas de regeneración de *A. araucana* en las inmediaciones del árbol madre, siendo mayor su abundancia en aquellos sitios que presentan algún nivel de alteración, en comparación a aquellos sitios sin alteración aparente. Esto demuestra la importancia de la mantención de los regímenes de perturbación en la regeneración de esta especie, la que se vería promovida por eventos de perturbación que generan alteraciones de baja intensidad.

Las plantas de regeneración de *A. araucana* se establecen en las inmediaciones del árbol madre, por lo que su presencia depende de la existencia de árboles semilleros en los sitios de estudio. La densidad de estas plantas de regeneración estaría modulada por la distancia al árbol madre, la cobertura, el nivel de alteración y la edad de las plantas de regeneración.

Las plantas de regeneración de *A. araucana* siguen el patrón de establecimiento predicho por el modelo de Janzen-Connell, encontrándose una mayor densidad de plantas de regeneración a distancias intermedias del árbol madre. De manera general, respecto a la distancia de las plantas de regeneración al árbol madre, se identificó una distancia promedio

de la regeneración de 6,5 metros, y una distancia máxima promedio de 13,5 metros. La mayor densidad de plantas de regeneración se registró entre los primeros 2 y 5 metros, disminuyendo gradualmente a medida que la distancia al árbol madre aumenta. Este patrón espacial de establecimiento se presenta en los diferentes niveles de alteración del bosque mixto de araucaria-lenga, aunque con variaciones significativas en la distancia al árbol madre y en la densidad de las plantas de regeneración encontradas. Este patrón también se ve modificado en función de la clase de altura de las plantas de regeneración, posiblemente inducido por la ocurrencia gradual pero persistente de eventos de mortalidad reiterados en las cercanías al árbol madre.

En base a estos hallazgos, se propone adoptar una estrategia pasiva para la protección de la regeneración de *A. araucana* en el bosque mixtos de araucaria-lenga que cuentan con algún nivel de alteración, enfocada en la reducción o eliminación de los factores que pueden generar daño mecánico en las plantas de regeneración. Esto podría lograrse mediante la creación de pequeños parches de exclusión dentro de los bosques de araucarias, a mayores distancias del árbol madre donde se compense la baja cantidad de establecimiento con las altas probabilidades supervivencia de las plantas de regeneración, limitando el acceso del ganado y la fauna exótica, así como la recolección de piñones y leña, con el fin de resguardar el reclutamiento de nuevos individuos reproductivos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA-BETTI, I.; MUÑOZ, A.A.; STAHL, D.; FIGUEROA, G.; DUARTE, F.; GONZÁLEZ-REYES, Á.; CHRISTIE, D.; LARA, A.; GONZÁLEZ, M.; FERNÁNDEZ, A. 2017. The first millennium-age *Araucaria araucana* in Patagonia. *Tree-Ring Research*, 73(1): 53-56.
- AKAIKE, H. 1998. A New Look at the Statistical Model Identification. En: E. PARZEN, K. TANABE, AND G. KITAGAWA (eds.). *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Springer New York, New York, NY. 215-222 pp.
- ARCO-MOLINA, J.G.; HADAD, M.A.; GONZALEZ-ANTIVILO, F.; ROIG, F.A. 2015. Muerte foliar en plantines de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch por efecto de temperaturas de congelamiento: Resultados preliminares. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(1): 59-65.
- ARMESTO, J.; VILLAGRÁN, C., ARROYO, M. 1996. *Ecología de los bosques nativos de Chile (Vol. 1)*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria. 470 p.

- BAILEY, T.G.; DAVIDSON, N.J.; CLOSE, D.C. 2012. Understanding the regeneration niche: Microsite attributes and recruitment of eucalypts in dry forests. *Forest ecology and management*, 269: 229-238.
- BARALOTO, C.; FORGET, P.; GOLDBERG, D.E. 2005. Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. *J. Ecol.*, 93: 1156-1166.
- BROCARD, C.R.; PEDROSA, F.; GALETTI, M. 2018. Forest fragmentation and selective logging affect the seed survival and recruitment of a relictual conifer. *Forest Ecology and Management*, 408: 87-93.
- BROWN, N.; JENNINGS, S.; WHEELER, P.; NABE-NIELSEN, J. 2000. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. *Journal of Applied Ecology*, 37: 1044-1053.
- BURNS, B. 1991. Regeneration dynamics of *Araucaria* in the southern Andes; PhD thesis. University of Colorado, Department of Geography, Boulder, USA. 211 p.
- BURNS, B. 1993. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana*-*Nothofagus antarctica* forest in the southern Andes. *Journal of Biogeography*, 20(6): 669-685.
- CANALE, A.; LADIO, A.H. 2020. La recolección de piñones de Pewén (*Araucaria araucana*): una situación significativa que conecta a niños mapuches con la naturaleza. *Gaia Scientia*, 14(1): 12-32.
- CARO, M. 1995. Producción y Dispersión de Semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch., en Lonquimay. Memoria de Título. Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 55 p.
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 2015. Informe a la nación. La megasequía 2010- 2015: una lección para el futuro. 28 p.
- CHÁVEZ, D.; MACHUCA, A.; FUENTES-RAMÍREZ, A.; FERNANDEZ, N.; CORNEJO, P. 2020. Shifts in soil traits and arbuscular mycorrhizal symbiosis represent the conservation status of *Araucaria araucana* forests and the effects after fire events. *Forest Ecology and Management*, 458: 117806.
- CITES. 2001. Cuadragésimo quinta reunión del Comité Permanente París (Francia). Interpretación y aplicación de la Convención, *Araucaria Araucana*. SC45 Doc 14. 3 p.
- CLARK, J.S.; BECKAGE, B.; CAMILL, P.; CLEVELAND, B.; HILLERISLAMBERS, J.; LICHTER, J.; MCLACHLAN, J.; MOHAN, J.; Y WYCKOFF, P. 1999. Interpreting recruitment limitation in forests. *American Journal of Botany*, 86(1): 1-16.
- CÓBAR-CARRANZA, A.J.; GARCÍA, R.A.; PAUCHARD, A.; PEÑA, E. 2015. Efecto de la alta temperatura en la germinación y supervivencia de semillas de la especie invasora *Pinus contorta* y dos especies nativas del sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 36(1): 53-60.

- CONNELL, J.H. 1971. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forests. En: den Boer PJ & GR Gradwell (eds) Dynamics of population, Centre for Agriculture Publishing and Documentation, Wageningen. 298-312 pp.
- CONNELL, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199: 1302-1310.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2021. Superficie de Bosque Nativo Según Tipo Forestal, en Hectáreas. Año 2020. Disponible en: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>
- CORTÉS, J.; UGALDE, I.; CAVIEDES, J.; IBARRA, J.T. 2019. Semillas de montaña: recolección, usos y comercialización del piñón de la araucaria (*Araucaria araucana*) por comunidades Mapuche-Pewenche del sur de los Andes. *Pirineos*, 174: e048-e048.
- DANIEL, T.; HELMS, J.; BACKER, F. 1982. Principios de Silvicultura. Mc Graw – Hill Co. Inc., México. 492 p.
- DELFIN-ALFONSO, C.A.; GALLINA-TESSARO, S.A.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, C.B. 2014. El Hábitat: Definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. En: GALLINA-TESSARO, S.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, C. (Eds). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Instituto de Ecología, Universidad Autónoma de Querétaro, México. 285-313 pp.
- DÍAZ, S.; KITZBERGER, T.; PERIS, S. 2012. Food resources and reproductive output of the Austral Parakeet (*Enicognathus ferrugineus*) in forests of northern Patagonia. *Emu* 112(3): 234-243.
- DONOSO, C. 1998. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y dinámica. 4ª Edición. Santiago (Chile). Editorial Universitaria. 483 p.
- DONOSO, S.; SCHMIDT, H.; PEÑA-ROJAS, K.; PERRY, F. 2009. Bosques de araucaria, producción de piñones y sustentabilidad. En: LIZANA, A. (Ed.) *Araucaria araucana* (Mol) K. Koch un recurso promisorio. Serie Ciencias Agronómicas N° 15. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 5-27 pp.
- DONOSO, S.R.; PEÑA-ROJAS, K.; ESPINOZA, C.; GALDAMES, E.; PACHECO, C. 2014. Producción, permanencia y germinación de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch en bosques naturales, aprovechados por comunidades indígenas del sur de Chile. *Interciencia*, 39(5): 338-343.
- DONOSO, S.; PEÑA-ROJAS, K.; ESPINOZA, C.; BADARACCO, C.; SANTELICES-MOYA, R.; CABRERA-ARIZA, A. 2024. Reproductive patterns in *Araucaria araucana* forests in the Andean range, Chile. *Ecological Processes*, 13(1): 1-10.

- DRAKE, F.; MOLINA, J.R.; ÚBEDA, M.Á.H. 2012. An ecophysiological approach for *Araucaria araucana* regeneration management. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 39(1): 159-176.
- DUPLANCIC, M.A.; MARTÍNEZ-CARRETERO, E.; CAVAGNARO, B.; HERRERA-MORATTA, M.; NAVAS-ROMERO, A.L. 2015. Factores que inciden en la germinación de *Araucaria araucana* (Araucariaceae) del bosque xérico. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(2): 71-82.
- FIA. 2007. Bases técnicas para el desarrollo del mercado del piñón: características de la producción, técnicas de poscosecha y desarrollo de productos, estableciendo instancias de difusión de resultados. Proyecto FIA PI-C-2003 1-F-092. 270 p.
- FINCKH, M. y PAULSCH, A. 1995. The Ecological strategy of *Araucaria araucana*. *Flora*, 190: 365-382.
- FUENTES-RAMÍREZ, A.; ARROYO-VARGAS, P.; DEL FIERRO, A.; PÉREZ, F. 2019. Post-fire response of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch: Assessment of vegetative resprouting, seed production and germination. *Gayana Botánica*, 76(1), 119-122.
- GAJARDO, R. 1980. Vegetación del bosque de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch en la Cordillera de Los Andes (Lonquimay, provincia de Malleco). En: *Boletín Técnico N° 57*, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, 25 p.
- GARCÍA, D.; HOULE, G. 2005. Fine-scale spatial patterns of recruitment in red oak (*Quercus rubra*): What matters most, abiotic or biotic factors? *Ecoscience*, 12: 223-235.
- GARDONIO, A. 2021. Applicazioni del telerilevamento per la stima degli attributi forestali a diversi livelli di disturbo nel Cile meridionale. Tesis de Maestría. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Universidad de Padova, Italia. 85 p.
- GIPOULOU, T. 2017. Pérdida de vigorosidad de individuos de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch por la megasequía del periodo 2010-2015. Tesis de Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales. Valdivia. Universidad Austral de Chile. 23 p.
- GONZÁLEZ, A. 2001. Análisis de la densidad y crecimiento de la regeneración de un bosque de *Araucaria* bajo distintas intensidades de corta de selección. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 79 p.
- GONZÁLEZ, M.E.; VELEN, T.; SIBOLD, J.S. 2005. Fire history of *Araucaria-Nothofagus* forests in Villarrica National Park, Chile. *J. Biogeogr*, 32: 1187-1202.
- GONZÁLEZ, M.E.; CORTÉS, M.; IZQUIERDO, F.; GALLO, L.; ECHEVERRÍA, C.; BEKKESY, S; MONTALDO, P. 2006. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch.; *Araucaria(o)*, Pehuén, Piñonero, Pino *Araucaria*, Pino chileno, Pino del Neuquén, Monkey puzzle tree. En: DONOSO, C. (ed.). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología*. Valdivia (Chile). 36-53 pp.

- GONZÁLEZ, M.; VEBLER, T. 2007. Incendios en bosques de *Araucaria araucana* y consideraciones ecológicas al madereo de aprovechamiento en áreas recientemente quemadas. *Revista chilena de historia natural*, 80 (2): 243-253.
- GONZÁLEZ, M.E.; SZEJNER, M.; MUÑOZ, A.A.; SILVA, J. 2010a. Incendios catastróficos en bosques andinos de *Araucaria-Nothofagus*: Efecto de la severidad y respuesta de la vegetación. *Bosque Nativo*, 46: 12-17.
- GONZÁLEZ, M.E.; VEBLER, T.; SIBOLD, J.S. 2010b. Influence of fire severity on stand development of *Araucaria araucana-Nothofagus pumilio* stands in the Andean cordillera of southcentral Chile. *Austral Ecol*, 35: 597-615.
- GONZÁLEZ, M.E.; CORTÉS, M.; GALLO, L.; BEKESSY, S.; ECHEVERRÍA, C.; IZQUIERDO, F.; MONTALDO, P. 2013. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. *Araucaria* (o), Pehuén, Piñonero, Pino Araucaria, Pino chileno, Pino del Neuquén, Monkey puzzle tree. En: DONOSO, C. (ed.). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile. 33-55 pp.
- GONZÁLEZ, M.E.; AMOROSO, M.; LARA, A.; VEBLER, T.T.; DONOSO, C.; KITZBERGER, T.; MUNDO, I.; HOLZ, A.; CASTELLER, A.; PARITSIS, J.; MUÑOZ, A.; SUÁREZ, M.L.; PROMIS, A. 2014 Ecología de distribución y su influencia en los bosques templados de Chile y Argentina. Capítulo 12. En: DONOSO, C.; GONZÁLEZ, M.E.; LARA, A. (eds.). *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Ediciones UACH, Valdivia, Chile. 411-502 pp.
- GRUBB, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological reviews*, 52(1), 107-145.
- HARPER, J.L.; LOVELL, P.H.; MOORE, K.G. 1970. The shapes and sizes of seeds. *Annual Rev. Ecol. Syst*, 1: 327-356.
- HECHENLEITNER, P.; GARDNER, M.F.; THOMAS, P.I.; ECHEVERRÍA, C.; ESCOBAR, B.; BROWNLESS, P.; MARTÍNEZ, C. 2005. *Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile*. Distribución, conservación y propagación. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. Valdivia, Chile. 188 p.
- HERNÁNDEZ, J.; GONZÁLEZ, V.; PROMIS-BAEZA, Á., CORVALÁN, P.; KUTCHARTT, E.; PIROTTI, F.; CARRER, M. 2022. Los bosques de araucaria-lenga Curacautín, Lonquimay y Melipeuco. Alteraciones de hábitat. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 161 p.
- HEUSSER, C.J. 1983. Quaternary pollen record from Laguna de Tagua Tagua, Chile. *Science*, 219: 1429-1432.

- HEUSSER, C.; RABASSA, J.; BRANDANI, A.; STUCKENRATH, R. 1988. Late-Holoceno Vegetation of the Andean Araucaria Region, Province of Neuquén, Argentina. *Mountain Research and Development*, 8(1): 53-63.
- HEUSSER, C.J. 1994. Paleoindians and fire during the late Quaternary in southern South America. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67: 435-442.
- HOWE, H.F.; MIRITI, M.N. 2004. When seed dispersal matters. *BioScience*, 54(7): 651-660.
- HUBBELL, S.P. 1980. Seed predation and the coexistence of tree species in tropical forests. *Oikos*, 35: 214-229.
- JANZEN, D.H. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *American Naturalist*, 104: 501-528.
- JORDANO-BARBUDO, P.D.; PULIDO, F.; ARROYO-MARÍN, J.; GARCÍA-CASTAÑO, J. L.; GARCÍA-FAYOS, P. 2008. Procesos de limitación demográfica. En: Valladares, F. (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante (Segunda edición)*. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S. A., Madrid. 231-250 pp.
- KELLY, D. 1994. The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology & Evolution*, 9: 465-470.
- Lechowicz, M.J.; Bell, G. 1991. The ecology and genetics of fitness in forest plants. 2. Microspatial heterogeneity of the edaphic environment. *Journal of Ecology*, 79: 687-696.
- LUSK, H.; FALSTER, D.S.; PÉREZ-MILLAQUEO, M.; SALDAÑA, A. 2006. Ontogenetic variation in light interception, self-shading and biomass distribution of seedlings of the conifer *Araucaria araucana*. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79: 321-328.
- MCCANNY, S.J. 1985. Alternatives in parent-offspring relationships in plants. *Oikos*, 45: 148-149.
- MOLES, A.T.; WESTOBY, M. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *J. Ecol*, 92: 372-383.
- MONTALDO, P. 1974. La Bio-ecología de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación. *Boletín Técnico*, 46-48: 1-55.
- MUNICIPALIDAD DE MELIPEUCO. 2011. Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) 2012-2016. 79 p.
- NATHAN, R.; MULLER-LANDAU, H.C. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*, 15: 278-285.

- NEIRA, Z. 1995. La importancia económica de la semilla de *Araucaria araucana* para la unidad familiar pehuenche. *Revista Desarrollo Agroforestal y Comunidad Campesina*, 4(20): 46-51.
- PAPÚ, S.; BERLI, F.; PICCOLI, P.; PATÓN, D.; RODRIGUEZ, D.O.; ROIG, F.A. 2021. Physiological, biochemical, and anatomical responses of *Araucaria araucana* seedlings to controlled water restriction. *Plant Physiology and Biochemistry*, 165: 47-56.
- PAUCHARD, A.; LANGDON, B.; JIMÉNEZ, A.; CAVIERES, L.; PEÑA, E.; NÚÑEZ, M.A. 2014. Pináceas invasoras en el sur de Sudamérica. Patrones, mecanismos e impactos potenciales. En: Jaksic, F.; Castro, S. (eds.). *Invasiones biológicas en Chile*. Ediciones UC. 283-308 pp.
- PEÑA, E.; HIDALGO, M.; LANGDON, B.; PAUCHARD, A. 2008. Patterns of spread of *Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. Invasión in a Natural Reserve in southern South America. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 1049-1054.
- PEREZ-QUEZADA, J.F.; BOWN, H.E. (Eds.). 2015. Guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Santiago, Universidad de Chile-CONAF. 115 p.
- PIROTTI, F. 2021. LasHemisphericSIM[C++]. <https://github.com/fpirotti/lasHemisphericSIM>
- PULIDO, F.J. 2002. Biología reproductiva y conservación: el caso de la regeneración de bosques templados y subtropicales de robles (*Quercus* spp.). *Revista chilena de historia natural*, 75(1): 5-15.
- QUEZADA, J. 2008. Historia de incendios en bosques de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch del Parque Nacional Villarrica, a partir de anillos de crecimiento y registros orales. Tesis de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 43 p.
- R CORE TEAM. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- RECHENE, C.; BAVA, J.; MUJICA, R. 2003. Los bosques de *Araucaria araucana* en Chile y Argentina. Programa de Apoyo Ecológico (TOEB), GTZ, Agencia de Cooperación Alemana, Informe TWFV/40s, Eschborn, Alemania. 158 p.
- REY, P.J.; ALCÁNTARA, J.M. 2000. Recruitment dynamics of a fleshy-fruited plant (*Olea europaea*): connecting patterns of seed dispersal to seedling establishment. *Journal of Ecology*, 88: 622-633.
- RIVAS-IRIARTE, G.F. 2020. Efecto de la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares y endófitos en la tolerancia al estrés por sequía en plántulas de *Araucaria araucana*. Memoria de título para optar al título de ingeniero en biotecnología vegetal. Universidad de Concepción. 54 p.

- ROIG, F.A.; HADAD, M.; MORENO, C.; GANDULLO, R.J.; PIRAINO, S.; MARTÍNEZ-CARRETERO, E.; GONZÁLEZ-LOYARTE, M.; ARCO, J.G.; BENDINI, M.; BONINSEGNA, J.A.; PERALTA, I.; BARRIO, E.; BOTTERO, R.; PATÓN-DOMÍNGUEZ, D.; JUANEDA, E.; TREVIZOR, T.; DUPLANCIC, A. 2014. Hiatos de regeneración del bosque de *Araucaria araucana* en Patagonia: vinculaciones al uso de tierras y desertificación regional. *Zonas Áridas*, 15(2): 326-348.
- SAAVEDRA, A.; WILLHITE, E. 2017. Observaciones Y Recomendaciones Relacionadas Con La Muerte de Ramas Y Follaje (Daño Foliar De La Araucaria) En *Araucaria araucana* En Los Parques Nacionales Del Sur—Centro De Chile. Centro de Chile, Washington DC. 23 p.
- SANGUINETTI, J. 2008. Producción y predación de semillas, efectos de corto y largo plazo sobre el reclutamiento de plántulas. Caso de estudio: *Araucaria araucana*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. 135 p.
- SANGUINETTI, J. 2014. Producción de semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch durante 15 años en diferentes poblaciones del Parque Nacional Lanín (Neuquén-Argentina). *Ecología Austral*, 24(3):265-275.
- SANGUINETTI, J.; KITZBERGER, T. 2008. Patterns and mechanisms of masting in the large-seeded southern hemisphere conifer *Araucaria araucana*. *Austral ecology*, 33(1): 78-87.
- SANGUINETTI, J.; KITZBERGER, T. 2009a. Efectos de la producción de semillas y la heterogeneidad vegetal sobre la supervivencia de semillas y el patrón espacio-temporal de establecimiento de plántulas en *Araucaria araucana*. *Revista Chilena Historia Natural*, 82: 319-335.
- SANGUINETTI, J.; KITZBERGER, T. 2009b. Factors controlling seed predation by rodents and non-native *Sus scrofa* in *Araucaria araucana* forests: potential effects on seedling establishment. *Biological Invasions*, 12(3): 689-706.
- SANGUINETTI, J.; DITGEN, R.S.; DONOSO-CALDERÓN, S.R.; HADAD, M.A.; GALLO, L.; GONZÁLEZ, M.E.; IBARRA, J.T.; LADIO, A.; LAMBERTUCCI, S.A.; MARCHELLI, P.; MUNDO, I.A.; NUÑEZ, M.A.; PAUCHARD, A.; PUCHI, P.; RELVA, M.A.; SKEWES, O.; SHEPHERD, J.D.; SPEZIALE, K.; VÉLEZ, M.L.; SALGADO-SALOMÓN, M.E.; ZAMORANO-ELGUETA, C. 2023. Información científica clave para la gestión y conservación del ecosistema biocultural del Pewén en Chile y Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 44(1): 179-190.
- SANTIBÁÑEZ, F. Y, SANTIBÁÑEZ, P. 2018. Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de Araucarias en Chile. Santiago. INFODEP. 39 p.
- SHEPHERD, J.D.; DITGEN, R.S. 2005. Human use and small mammal communities of Araucaria forests in Neuquén, Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 12(2): 217.

- SHEPHERD, J.D.; DITGEN, R.S.; SANGUINETTI, J. 2008. *Araucaria araucana* and the Austral parakeet: predispersal seed predation on a masting species. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81: 395-401.
- SHEPHERD, J.D.; DITGEN, R.S. 2012. Predation by *Rattus norvegicus* on a native small mammal in an *Araucaria araucana* forest of Neuquén, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85: 155-159.
- SHEPHERD, J.D.; DITGEN, R.S. 2013. Rodent handling of *Araucaria araucana* seeds. *Austral Ecology*, 38(1): 23-32.
- SIERRA-BRAVO, R. 2003. Teorías y ejercicios. Editorial Paraninfo S.A. Técnicas de investigación social. Novena edición revisada y ampliada. Madrid, España. 304-322 pp.
- SILVA, N. 2017. Efectos de disturbios antrópicos de pequeña escala sobre un bosque de *Araucaria araucana* y *Nothofagus pumilio* en la Reserva Nasampulli, en la Región de la Araucanía de Chile. Tesis Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 46 p.
- SOTO, D.; SALAS, C.; DONOSO, P.; UTEAU, D. 2010. Heterogeneidad estructural y espacial de un bosque mixto dominado por *Nothofagus dombeyi* después de un disturbio parcial. *Revista Chilena de Historia Natural*, 83(3): 335-347.
- TELLA, J.L.; LAMBERTUCCI, S.A.; SPEZIALE, K.L.; HIRALDO, F. 2016. Large-scale impacts of multiple co-occurring invaders on monkey puzzle forest regeneration, native seed predators and their ecological interactions. *Global Ecology and Conservation*, 6: 1-15.
- TRUJILLO, A. 2017. Evaluación del éxito de estrategias de restauración activa y pasiva del bosque mesófilo de montaña. Xalapa, Veracruz, México. 71 p.
- VEBLEN, T.T. 1982. Regeneration patterns in *Araucaria araucana* forests in Chile. *J. Biogeogr*, 9: 11-28.
- VEBLEN, T.T. 1989. Tree regeneration responses to gaps along a transandean gradient. *Ecology*, 70: 541-543.
- VEBLEN, T.T. 1992. Regeneration dynamics. En: GLENN-LEWIN D.; PEET, R.; VEBLEN, T. (eds). *Plant Succession: Theory and Prediction*. Chapman & Hall. London. 152-187 pp.
- VEBLEN, T.T.; DELMASTRO, R. 1976. Los recursos genéticos de *Araucaria araucana* en Chile. Roma. FAO. Información sobre recursos genéticos forestales, 5: 2-6.
- VEBLEN, T.T., BURNS, B.R., KITZBERGER, T., LARA, A.; VILLALBA, R. 1995. The ecology of the conifers of southern South America. En: ENRIGHT, N.J.; HILL, R.S. (eds.).

Ecology of the Southern Conifers. Melbourne University Press, Melbourne, Australia. 120-155 pp.

VEBLEN, T.; KITZBERGER, T.; BURNS, B.; REBERTUS, A. 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques del sur de Chile y Argentina. En: ARMESTO, J.; VILLAGRÁN, C.; ARROYO, M. (eds.). Ecología de los bosques nativos de Chile. 1^o Edición. Santiago (Chile), Editorial Universitaria. 169-198 pp.

VEBLEN, T.T.; KITZBERGER, T.; VILLALBA, R. 2004. Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina y Chile. En: ARTURI, M.F.; FRANGI, J.L.; GOYA, J.F. (eds) Ecología y manejo de los bosques nativos de Argentina. Editorial Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina. 1- 48 pp.

VEBLEN, T.; BURNS, B.; KITZBERGER, T.; LARA, A.; VILLALBA, R. 2005. The ecology of conifers of Southern South America. In: Ecology of the southern conifers. *Bosque*, 26(1): 23-32.

WHITE, P.S; JENTSCH, A. 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. *Progress in Botany*, 62: 399-450.

WINTER, P.L. 2006 . The impact of normative message types on off-trail hiking. *Journal of Interpretation Research*, 11(1): 35-52.













ZAMORANO-ELGUETA, C.; CAYUELA, L.; GONZÁLEZ-ESPINOZA, M.; LARA, A.; PARRA, M.R. 2012. Impacts of cattle on the South American temperate forests: Challenges for the conservation of the endangered monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) in Chile. *Biological Conservation*, 152: 110-118.

ZAMORANO-ELGUETA, C.; CAYUELA, L.; REY-BENAYAS, J.M.; DONOSO, P.J.; GENELETTI, D.; HOBBS, R.J. 2014. The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: a landscape approach. *Ecosphere*, 5(7): 1-17.

7. APÉNDICE

Apéndice I

Imágenes satelitales de los sitios analizados según nivel de alteración.

Nivel de alteración	Sitios de estudio		
Sin	 <p data-bbox="250 762 570 787">Sitio 4. La Fusta, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="691 762 1011 787">Sitio 5. Conguillío, Melipeuco</p>	 <p data-bbox="1131 762 1507 787">Sitio 6. Malalcahuello, Curacautín</p>
Bajo	 <p data-bbox="250 1094 586 1119">Sitio 7. El Naranjo, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="691 1094 1027 1119">Sitio 8. El Naranjo, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="1131 1094 1468 1119">Sitio 9. El Naranjo, Lonquimay</p>
Medio	 <p data-bbox="250 1419 602 1444">Sitio 10. El Naranjo, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="691 1419 1044 1444">Sitio 12. El Naranjo, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="1131 1419 1484 1444">Sitio 12. El Naranjo, Lonquimay</p>
Alto	 <p data-bbox="250 1749 570 1774">Sitio 1. La Fusta, Lonquimay</p>	 <p data-bbox="691 1749 995 1774">Sitio 2. La Fusta, Melipeuco</p>	 <p data-bbox="1131 1749 1451 1774">Sitio 3. La Fusta, Lonquimay</p>

Apéndice II

Tabla I. Número de parcelas muestreadas por sitio.

Alteración	Sin			Baja			Media			Alta		
Sitio	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Nº parcelas	19	13	20	18	18	13	13	13	12	18	18	19

Tabla II. Número de árboles madre muestreados por sitio.

Alteración	Sin			Baja			Media			Alta		
Sitio	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Nº Madres	10	8	10	8	8	7	8	7	8	5	8	10

Apéndice III

Encuesta "Apreciaciones sobre la regeneración de *Araucaria araucana*"

Encuesta dirigida a académicos y profesionales, así como a miembros de las comunidades locales para conocer sus apreciaciones sobre la regeneración de *A. araucana* y sus amenazas.

1. ¿Cuál es su acercamiento a la araucaria?

- a) Académico
- b) Manejo y gestión del sector privado
- c) Manejo y gestión del sector público
- d) Experiencias personales, de oficio y/o culturales
- e) Otra..

2. ¿Cree que actualmente existe una limitación a la regeneración de esta especie en los bosques de araucaria-lenga?

- a) Si, no hay regeneración.
- b) Si, hay poca regeneración.
- c) No, actualmente no se observan problemas en la regeneración de esta especie
- d) Otra..

3. En base a la respuesta anterior, marque sus apreciaciones respecto a la regeneración de esta especie:

	Si, normal	Si, pero menos que antes	No	No sabe
1. ¿Hay producción de semillas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Hay germinación del piñón en el bosque?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Hay establecimiento de nuevas plantas en el bosque?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Las plantas son capaces de desarrollarse hasta edades adultas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. De creer que existe una limitación a la regeneración, ¿cuáles son los factores que actualmente estarían limitando la regeneración de la araucaria según sus conocimientos? Seleccione máximo lo 3 más relevantes por fila

	Enfermedades	Animales introducidos	Sobrepastoreo	Piñoneo	Colecta de leña
1. Supervivencia de la semilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Establecimiento de las plantas de regeneración	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Desarrollo de las plantas de regeneración	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mortalidad de individuos jóvenes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. ¿Conoce otro factor que limite la regeneración de la araucaria en la actualidad que no haya sido mencionado en la pregunta anterior? De ser así, mencione cuál y qué etapas afecta.

6. ¿Qué etapa del ciclo de vida de la araucaria cree que está actuando como limitante en la regeneración de esta especie? Marque las 2 más relevantes según sus apreciaciones:

- a) Producción de semillas
- b) Supervivencia de la semilla en el bosque
- c) Germinación de la semilla
- d) Establecimiento de nuevas plantas en el bosque
- e) Mortalidad de individuos jóvenes

7. En base a su conocimiento, ¿qué medida o resguardo deberían incorporar las personas que hacen uso de estos bosques?

8. ¿Qué aspectos cree que son necesarios regular para mejorar la conservación de esta especie?

Apéndice IV

Selección de los modelos a través del criterio de Akaike (AIC)

En la selección de los modelos utilizados en el análisis de homogeneidad de la pendiente (Waldtest) se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), métrica ampliamente reconocida en la literatura científica por su capacidad para equilibrar la bondad de ajuste del modelo con su complejidad (Akaike 1998).

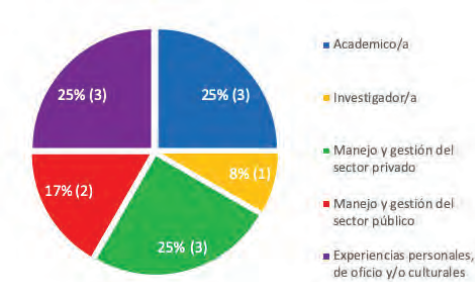
A continuación se presentan los valores de AIC obtenidos, y la selección de los modelos finalmente utilizados:

Efectos	Modelo	AIC
Alteración	Distancia * Alteración	3266,2
	Distancia + Alteración	3262
Cobertura	Distancia * Cobertura	3246,1
	Distancia + Cobertura	3245,3
Clase de altura	Distancia * Clase de altura	3230,4
	Distancia + Clase de altura	3234,4
Orientación	Distancia * Orientación	3300
	Distancia + Orientación	3295,4
Alteración * Cobertura	Distancia * Alteración * Cobertura	3218,9
	Distancia * Alteración + Cobertura	3219,6
	Distancia + Alteración * Cobertura	3211,3
	Distancia + Alteración + Cobertura	3216,8
Alteración * Clase de altura	Distancia * Alteración * Clase de altura	3199,8
	Distancia * Alteración + Clase de altura	3201
	Distancia + Alteración * Clase de altura	3190,3
	Distancia + Alteración + Clase de altura	3195,7
Alteración * Clase de altura * Cobertura	Distancia * Alteración * Clase de altura * Cobertura	3236,3
	Distancia * Alteración * Clase de altura + Cobertura	3147,6
	Distancia * Alteración + Clase de altura * Cobertura	3158,7
	Distancia + Alteración * Clase de altura * Cobertura	3184,3
	Distancia * Alteración + Clase de altura + Cobertura	3152
	Distancia + Alteración + Clase de altura * Cobertura	3155,1
	Distancia + Alteración * Clase de altura + Cobertura	3141,4
	Distancia + Alteración + Clase de altura + Cobertura	3147,8

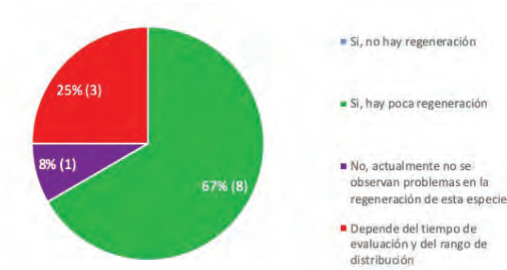
Apéndice V

Respuestas a la encuesta "Apreciaciones sobre la regeneración de *Araucaria araucana*"

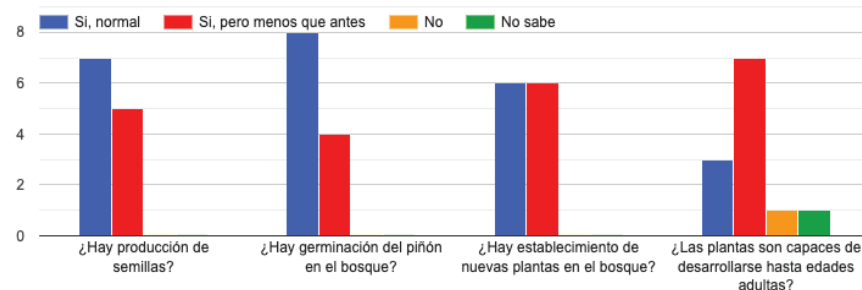
1. ¿Cuál es su acercamiento a la araucaria?



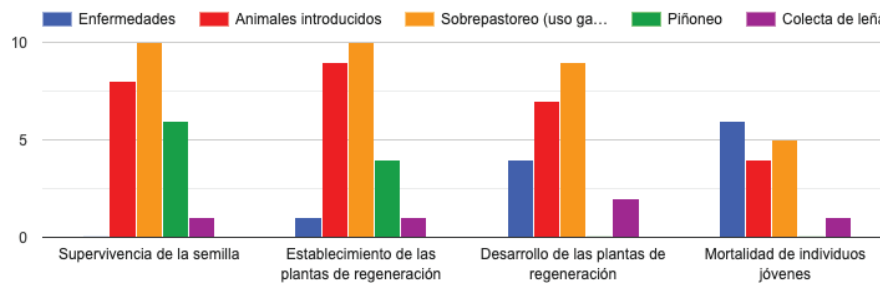
2. ¿Cree que actualmente existe una limitación a la regeneración de esta especie en los bosques de araucaria-lenga?



3. En base a la respuesta anterior, marque sus apreciaciones respecto a la regeneración de esta especie:



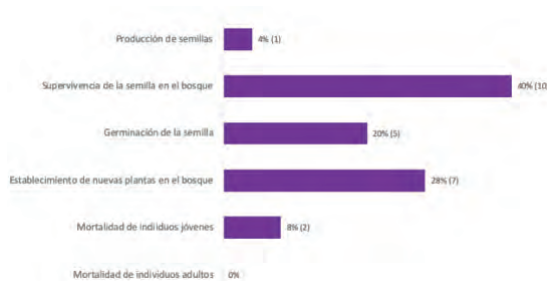
4. De creer que existe una limitación a la regeneración, ¿cuáles son los factores que actualmente estarían limitando la regeneración de la araucaria según sus conocimientos? Seleccione máximo lo 3 más relevantes por fila



5. ¿Conoce otro factor que limite la regeneración de la araucaria en la actualidad que no haya sido mencionado en la pregunta anterior? De ser así, mencione cuál y qué etapas afecta.

1	Competencia con otras plantas, como <i>Chusquea quila</i> o <i>Chusquea coleou</i>
2	Poca presencia de individuos hembra
3	Trabajo en los bosques de araucaria desde hace 20, he estudiado el tema en terreno, casi siempre la regeneración es muy buena, menos donde hay sotobosque de chusquea
4	Tal vez el cambio de clima de los últimos 10 a 12 años. Hace falta investigar más sobre sus efectos en Araucaria
5	Actividades asociada al Turismo y extracción de semilla para su consumo
6	Piñoneo sin criterios de recolección sustentable (sobre todo lo relacionado con las fechas de recolección y quienes recolectan)
7	Cambio climático, degradación de ecosistemas
8	Roedores y aves también consumen semillas, roedores principalmente en sectores cubiertos de quila y arbustos.
9	Quizás, habría que considerar las sequías y masting
10	Degradación de bosques que llevó a muchos rodales a estar conformados preponderantemente por árboles masculinos
11	El fuego afecta todas las etapas de la regeneración, incluyendo la producción y disponibilidad de semillas, al eventualmente matar a individuos madre en el caso de eventos de alta severidad.

6. ¿Qué etapa del ciclo de vida de la araucaria cree que está actuando como limitante en la regeneración de esta especie? Marque las 2 más relevantes según sus apreciaciones:



7. En base a su conocimiento, ¿qué medida o resguardo deberían incorporar las personas que hacen uso de estos bosques?

1	Mantener las semillas en el bosque, disminuir la presencia de ratas, jabalíes, ciervos y animales de granja (e.g. vacas, caballos, cabras, cerdos etc.) en el bosque.
2	Deberían poder manejar los bosques mixtos de Araucaria Lengua – Nire
3	El problema es la regeneración de lenga y otros, por la enorme sobrecarga de vacas, además hoy vive demasiada gente en estos bosques. Ni los chivos comen la araucaria
4	Restringir la cosecha de piñones, fomentar la caza de Jabalí, establecer periodos de caza de Jabalí en Parques Nacionales
5	Eliminación de uso ganadero
6	Fechas de colecta de piñones, bajar carga animal en pastoreo
7	Bajar el pastoreo, delimitar zonas donde las semillas puedan germinar en cantidad suficiente.
8	No alterar la cama de semillas y la protección de la regeneración.
9	Limitar el número de cabezas de animales (bovino, caprino y cerdos), es muy difícil hacerlo, pero hemos visto sectores que donde ya no suben animales, la regeneración aumenta en densidad.
10	El artículo 19° de la ley 20283 prohíbe la alteración del hábitat. Por lo tanto, debería estar algo restringido el Uso.
11	Sacar animales. Realizar restauración activa
12	Remover el ganado del bosque.

8. ¿Qué aspectos cree que son necesarios regular para mejorar la conservación de esta especie?

1	Impedir la subdivisión de bosques y terrenos de predios rústicos par un uso inmobiliario. Evitar incendios.
2	Manejo de áreas colindantes a la araucaria.
3	Hoy vive demasiada gente, vean las imagines en google earth del sector Mallin del Treile, lleno de casas, lleno de animales, y los suelos con erosión severa.
4	Control de Jabalí en bosques de araucaria privados y públicos. Establecer periodos de caza de Jabalí en Parques Nacionales.
5	Restricción actividades asociada al uso del territorio, ganado caprino y turístico, y planificación territorial en función del grado de alteración de estás formaciones.
6	Regular la extracción de piñones por parte de personas ajenas a las comunidades pehuenches. Capacitación en técnicas de recolección sustentable de piñones y aplicación de vedas o fechas límites de extracción.
7	Limitar la extracción y venta de piñones: el mal llamado componente cultural sólo contribuye a una extracción irracional por parte de determinados habitantes, rompiendo por décadas el ciclo de los bosques de araucarias. Antes la recolección era para el hogar y una mínima parte para la venta, ahora todo se vende en gran volumen, superando por mucho el consumo familiar tradicional.
8	Fiscalización en terreno, capacitación propietarios.
9	Sembrar semillas ha resultado una alternativa beneficiosa. Sin embargo, hay aspectos culturales y económicos difíciles de modificar en las comunidades.
10	Incorporar la diversidad del rango de distribución y asociaciones al SNASPE (o nuevo sistema), tomar medidas a largo plazo (considerar la resiliencia de la especie a los disturbios) y mejora la definición de los tipos forestales o asociaciones vegetacionales. Lo que entrega incertezas a la hora de cuantificar, o peor aún, limita programas de restauración o implementación de medidas de compensación.
11	No dejarlos botados. Leo decreto que prohíbe su corta, no incentiva que estos bosques sean más estudiados y restaurados. Se olvida que una parte importante de los bosques son vestigios de degradación.
12	Realizar ensayos de restauración usando legados ecológicos y plantar en el otoño.