



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

INDICADORES CLAVE PARA LA EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN DE HABITAT EN POBLACIONES DE *NOTHOFAGUS* *MACROCARPA*

AFE para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales
Renovables y al Grado de Magíster en Gestión Territorial de Recursos
Naturales.

SEBASTIÁN ANDRÉS ARANEDA CELAYA

Guía de AFE
Dr. Álvaro Gutiérrez I.
Dr. Jorge Pérez Q.

Profesores consejeros
Dr. Jorge Razeto
Dr. Gerardo Soto

Evaluador Externo
Dr. Alejandro Venegas-González

SANTIAGO - CHILE
2023



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**INDICADORES CLAVE PARA LA EVALUACIÓN DE LA
ALTERACIÓN DE HABITAT EN POBLACIONES DE *NOTHOFAGUS
MACROCARPA***

AFE presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables y al Grado de Magíster en Gestión Territorial de Recursos Naturales.

SEBASTIÁN ANDRÉS ARANEDA CELAYA

	Calificaciones	Firmas
GUIA DE AFE		
Álvaro Gutiérrez Ilabaca Ingeniero Forestal, Dr.	6,4	
Jorge Pérez Quezada Ingeniero Agrónomo, MS, Dr.	6,8	
PROFESORES CONSEJEROS		
Jorge Antonio Razeto Migliaro Antropólogo, MS, Dr.	6,6	
Gerardo Soto Mundaca Ingeniero Forestal, MS, Dr.	6,9	 Firmado digitalmente por Gerardo Soto Mundaca
EVALUADOR EXTERNO		
Alejandro Venegas-González Ingeniero Forestal, MS, Dr.		

Santiago, Chile
2023

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han respaldado a lo largo de la realización de este trabajo de investigación. En primer lugar, agradezco a mis profesores guías, Álvaro Gutiérrez y Jorge Pérez, quienes me acompañaron y brindaron su apoyo en cada etapa de mi proceso de aprendizaje durante el Magíster. También quiero destacar la contribución invaluable de Vinci Urrea, en su papel como coordinadora del proyecto. Su participación fue fundamental para el desarrollo de esta investigación, ampliando mi perspectiva sobre lo que es posible en este campo.

Mi reconocimiento se extiende al Laboratorio Bosque Ciencia, que no solo proporcionó las instalaciones necesarias, sino que también me ofreció un entorno de motivación constante, fundamental para el progreso de mi trabajo. Además, quiero expresar mi agradecimiento al Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF 004/2021, "Evaluación de la integridad ecológica de los bosques de *Nothofagus macrocarpa*", por su apoyo financiero que permitió llevar a cabo esta investigación en Chile, contribuyendo al conocimiento y gestión de nuestras especies arbóreas.

Quiero dirigir mis más profundos agradecimientos a mi esposa, Eugenia Araujo, y a mi familia, quienes me apoyaron en cada paso de este proceso, manteniendo mi motivación y brindándome coherencia. Ellos son una parte fundamental de mi vida, y estoy dispuesto a ofrecer todo lo que tengo en aras de su bienestar.

Además, agradezco a la comunidad de donde provengo, Peñalolén, por haberme educado desde una temprana edad en los desafíos que la humanidad enfrenta, especialmente en lo relacionado con el medio ambiente. Mi reconocimiento se extiende a la Comunidad Bahá'í por proporcionarme una educación espiritual que ha enriquecido mi desarrollo intelectual y me ha inspirado a servir a otros con alegría, siendo un pilar de apoyo en cada paso.

Por último, quiero expresar mi gratitud con todo mi ser y espíritu a Dios y a Bahá'u'lláh. Desde el primer momento, fui educado en los principios de llevar a cabo acciones puras y hermosas, así como en la creencia de que todos los seres humanos han sido creados para contribuir a una civilización en continuo progreso.

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Área de estudio.....	13
Marco para la evaluación de la alteración de hábitat de los bosques de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	15
Identificación de indicadores para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	16
a) Selección de indicadores a través de revisión bibliográfica.....	16
b) Selección de indicadores a través de criterio de expertos locales.....	17
c) Selección de indicadores a través de entrevistas a expertos técnico – científicos	19
d) Equilibrio en las fuentes de información	19
Determinación de indicadores clave de alteración de hábitat en poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	19
Tipo de muestreo	19
Recolección de datos	20
Valorización y jerarquización de los indicadores	21
Análisis de consistencia de juicios	21
Desarrollo de un índice multicriterio.....	22
RESULTADOS	24
a) Indicadores clave seleccionados a través de revisión bibliográfica	24
1. Selección de indicadores clave de estructura a través de revisión bibliográfica...25	
1.1. Árboles muertos	26
1.2. Área basal.....	26
1.3. Superficie de claros	26
2. Selección de indicadores clave de composición a través de revisión bibliográfica	26
2.1. Abundancia de la regeneración natural de árboles.....	27
2.2. Frecuencia de especie exótica vegetal.....	27
2.3. Frecuencia de especie exótica animal	27
2.4. Riqueza de especies arbóreas	28
3. Selección de indicadores clave de función a través de revisión bibliográfica	28
3.1. Crecimiento	28
3.2. Producción de hojarasca.....	29
3.3. Almacenamiento de agua	29

4. Selección de indicadores clave de la estructura del paisaje a través de revisión bibliográfica	30
4.1. Relación área-perímetro del parche.....	30
4.2. Distancia a áreas pobladas.....	30
4.3. Cercanía del fragmento con otros parches de bosque del mismo tipo	31
4.4. Tamaño de parche de bosque	31
5. Indicadores clave y sus implicaciones en la alteración del hábitat de poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	31
b) Indicadores clave a través de criterio de expertos locales	32
c) Indicadores clave a través de entrevistas a expertos técnico – científicos.....	34
d) Equilibrio con enfoque socio-ecológico de los indicadores.....	35
Determinación de indicadores claves de la alteración de hábitat en poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	37
Determinación de indicadores claves a través de expertos	37
Desarrollo de un índice multicriterio para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i>	37
Priorización de los componentes e indicadores.....	37
Índices multicriterio para la evaluación de la alteración de hábitat	39
DISCUSIÓN.....	41
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA	46
ANEXOS	55
Anexo 1. Poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i> desde Parque Nacional La Campana a Santuario de la Naturaleza Alto Huemul	55
APÉNDICES.....	61
Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales. (Continuación).....	66
Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales. (Continuación).....	68

Índice de cuadros

Cuadro 1: Preguntas utilizadas para la recolección de datos.	18
Cuadro 2. Distribución de los participantes identificados para las encuestas.....	20
Cuadro 3. Indicadores clave seleccionados y su estado.	32
Cuadro 4. Selección de indicadores clave desde un enfoque socio – ecológico.....	36

Índice de figuras

Figura 1. Distribución potencial de la especie y localidades de los expertos locales contactados. Fuente: Evaluación de la integridad ecológica de los bosques de <i>Nothofagus macrocarpa</i> ” del FIBN 004/2021.	15
Figura 2. Modelo conceptual de la integridad ecológica (adaptado de Tierney <i>et al.</i> 2009).....	16
Figura 3. Frecuencia de indicadores de alteración de hábitat para los componentes de a) estructura, b) composición, c) función y d) estructura del paisaje, a través de la revisión bibliográfica.....	25
Figura 4. Parches de igual área, pero diferente perímetro (Matteucci, 2004).....	30
Figura 5. Cartografía conjunta realizada en Reserva Nacional Roblería de Cobre de Loncha.	33
Figura 6. Indicadores clave seleccionados por expertos locales.	34
Figura 7. Indicadores clave seleccionados a través de expertos técnico – científicos.	35
Figura 8. Pesos relativos de cada a) componente y los indicadores clave de la b) estructura, c) composición, d) función y e) estructura del paisaje.	38

Anexos

Anexo 1. Poblaciones de <i>Nothofagus macrocarpa</i> desde Parque Nacional La Campana a Santuario de la Naturaleza Alto Huemul.....	55
Anexo 2. Escala de valoración de Saaty (2008).....	55
Anexo 3. Fuentes de información para la selección de indicadores clave.	55

Apéndices

Apéndice 1: Estructura de entrevista aplicada a expertos locales.	61
Apéndice 2: Expertos técnico – científicos identificados a través de criterio.....	61
Apéndice 3: Estructura de entrevista aplicada a expertos técnico – científicos.....	62
Apéndice 4: Estructura del cuestionario.....	62
Apéndice 5: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de estructura.	63
Apéndice 6: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de composición.	63
Apéndice 7: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de función.....	64
Apéndice 8: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de la estructura del paisaje.....	64
Apéndice 9: Información categorizada entrevista de San Juan de Piche – Alhúe.	65
Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales.....	66
Apéndice 11: Análisis interpretativo para los componentes en las entrevistas a expertos técnico – científico	70

Apéndice 12: Resultados de la valoración de los componentes e indicadores clave en los cuestionarios.	74
Apéndice 13: Resultados de la valoración de los participantes aplicando la media geométrica.	76
Apéndice 14: Análisis de consistencia	78

RESUMEN

Los bosques desempeñan un papel esencial en la existencia y la actividad humana, al fortalecer los medios de vida. Por lo tanto, es imperativo desarrollar instrumentos que contribuyan a su conservación y manejo sustentable. Actualmente, existe incertidumbre sobre el grado de alteración de los bosques de *Nothofagus macrocarpa*, lo que resalta la necesidad de un enfoque renovado en la comprensión de esta especie. Esta necesidad se fundamenta no solo en la conservación de la biodiversidad local, sino también en el impacto que la reducción de estos bosques podría ocasionar en las comunidades que mantienen una interacción directa con la especie.

La presente investigación tuvo como objetivo proponer una serie de indicadores clave y un índice con un enfoque socio-ecológico para evaluar el grado de alteración del hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*, una especie arbórea endémica en categoría de conservación de los bosques mediterráneos de Chile. Se adoptó el marco de la integridad ecológica, considerando una serie de indicadores para diversos componentes, que abarcan la estructura, composición y función de un ecosistema, además de considerar indicadores de la estructura del paisaje

Se llevaron a cabo entrevistas con expertos locales y técnicos-científicos, además de realizar una revisión bibliográfica para seleccionar los indicadores clave. La información recopilada se integró en un modelo de evaluación multicriterio, mediante la aplicación de cuestionarios a un grupo amplio de personas vinculadas a las poblaciones estudiadas. Este enfoque permitió la determinación de prioridades y ponderaciones relativas en la evaluación de la alteración del hábitat.

Entre los componentes y los doce indicadores clave resultantes de la selección, destacan ejemplos como el almacenamiento de agua, la proximidad entre los parches de bosque del mismo tipo, la abundancia de regeneración de árboles, la presencia de especies exóticas animales y la existencia de árboles muertos. A partir de estos elementos y otros, se desarrolló un índice que facilita la evaluación de la alteración del hábitat en diversos componentes y en su totalidad para las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

Finalmente, los indicadores propuestos ofrecen una oportunidad para mejorar las medidas e instrumentos de conservación y manejo de la especie. La implementación exitosa de estos indicadores implica realizar mediciones en terreno y aplicar tanto los indicadores clave como el índice propuesto. Estas acciones resultan cruciales para evaluar la efectividad y eficiencia de las herramientas propuestas.

Palabras claves: Alteración de hábitat, Integridad ecológica, Evaluación multicriterio, *Nothofagus macrocarpa*.

ABSTRACT

Forests play an essential role in human existence and activity, strengthening livelihoods. Therefore, it is imperative to develop instruments that contribute to their conservation and sustainable forest management. Currently, there is uncertainty about the degree of alteration of *Nothofagus macrocarpa* forests, which highlights the need for a renewed focus on the understanding of this species. This need is based not only on the conservation of local biodiversity, but also on the impact that the reduction of these forests could have on the communities that interact directly with the species.

The present research aimed to propose a series of key indicators and an index with a socio-ecological approach to assess habitat alteration in populations of *Nothofagus macrocarpa*, an endemic tree species in conservation category of the Mediterranean forests of Chile. The ecological integrity framework was adopted, considering a series of indicators for various components, covering the structure, composition, functioning and structure of the landscape.

Interviews were conducted with local experts and technicians-scientists, in addition to an exhaustive literature review to select key indicators. The information gathered was integrated into a multi-criteria evaluation model, through the application of questionnaires to a large group of people linked to the populations studied. This approach made it possible to determine priorities and relative weightings in the evaluation of habitat alteration.

Among the components and the twelve key indicators resulting from the selection, examples such as water storage, proximity between forest patches of the same type, abundance of tree regeneration, presence of exotic animal species and the existence of dead trees stand out. Based on these and other elements, an index was developed that facilitates the evaluation of habitat alteration in the various components and in its totality for *Nothofagus macrocarpa* populations.

Finally, the proposed indicators offer an opportunity to improve conservation and management measures and instruments for the species. The successful implementation of these indicators implies carrying out field measurements and applying both the key indicators and the proposed index. These actions are crucial to evaluate the effectiveness and efficiency of the proposed tools.

Key words: Habitat alteration, Ecological integrity, Multicriteria evaluation, *Nothofagus macrocarpa*.

INTRODUCCIÓN

Los avances que debemos realizar en una sociedad que está en continuo progreso son múltiples e implican necesariamente reconocer a la naturaleza y sus contribuciones a las personas, como esenciales para la existencia humana y la calidad de vida (IPBES, 2019). Particularmente, los bosques contribuyen tanto a las personas como al planeta al fortalecer los medios de vida, suministrar aire y agua limpios, conservar la biodiversidad y responder al cambio climático (FAO, 2018).

La visión de la sociedad sobre la importancia de los bosques ha experimentado cambios en muchas regiones del mundo (Puetzman *et al.*, 2009), la creciente preocupación de la ciudadanía, el sector público y privado por el mantenimiento de la biodiversidad nos está invitando a reconocer una gama más amplia de cuestiones ecológicas y sociales (Puetzman *et al.*, 2009). Dada la importancia que tienen los bosques para la sociedad y el trascendental papel que desempeñan en materias ambientales, es más urgente que nunca poner a los bosques bajo conservación y manejo sustentable, para obtener sus múltiples beneficios sin comprometer que las generaciones futuras también lo puedan hacer (INFOR, 2011).

Para apreciar la importancia de la conservación y manejo del bosque nativo, resulta crucial adquirir nuevos conocimientos sobre los ecosistemas y reconocer la intrincada complejidad inherente a los territorios. En este contexto, un enfoque socio – ecológico nos permite entender un sistema totalmente integrado entre personas y naturaleza (Cerón *et al.*, 2019). La búsqueda de soluciones territoriales para la conservación y manejo de los bosques implica una renuncia a las visiones inminentemente sectoriales y avanzar en una mirada basada en el pensamiento complejo (Pérez-Quezada y Rodrigo, 2018). Esto se complementa con un enfoque socio – ecológico, que considera las diferentes partes que interactúan en un sistema para formar una entidad más compleja. Esta visión es más integral porque no se centra en una comprensión detallada de las partes, sino en cómo los principales componentes contribuyen a la dinámica de todo el sistema (Rathe, 2017).

Por otro lado, en los territorios en los cuales está inserto el bosque nativo, existe una “diversidad biocultural”, que considera la diversidad de la vida en todas sus manifestaciones, biológicas, culturales y lingüísticas, que se interrelacionan y posiblemente co – evolucionan (Merlin, 2022). De acuerdo con esto, la importancia de considerar el concepto de diversidad biocultural encuentra su expresión en la necesidad de crear un proceso participativo, reflexivo y sensibilizador que debería abarcar todas las fases del proceso de conservación (Gavin *et al.*, 2015) y manejo del bosque nativo.

Chile está dotado de una gran diversidad de ecosistemas. A esto se suma un alto grado de endemismo de especies (22 a 25%), que transforma amplios espacios de nuestro territorio en verdaderos laboratorios naturales (MMA, 2014). Los bosques desempeñan un papel fundamental en la captura de carbono a nivel nacional, por lo cual es importante incrementar su capacidad de captura, a través del manejo sostenible del bosque nativo y mediante la creación de nuevos recursos e instrumentos para la conservación (CONAF, 2019). Uno de los géneros arbóreos endémicos de Chile que contribuye a la diversidad ecosistémica es *Nothofagus*, un grupo de árboles que se encuentran exclusivamente en el hemisferio sur (Chorbadjian y Francino, 2013).

Esta investigación se centra en *Nothofagus macrocarpa*, conocido como Roble de Santiago o Roble Blanco. Esta especie es la más septentrional del género *Nothofagus* en Chile y se caracteriza por tener hojas grandes y ocupar posiciones elevadas, definiendo el límite de la vegetación arbórea en la cordillera de la costa central de Chile (Luebert y Pliscoff, 2017). *N. macrocarpa* presenta pequeñas poblaciones aisladas, una marcada estructura geográfica latitudinal pasada y una expansión-contracción local de la especie (Mathiasen *et al.*, 2020), lo que la ha catalogado como una especie remanente (Donoso *et al.*, 2010). El estado actual del conocimiento acerca de esta especie es limitado en lo que respecta a su dinámica y sus relaciones estructurales básicas, incluyendo parámetros medibles como tasas de crecimiento, productividad y capacidad de regeneración. Además, se ha observado una disminución significativa en el establecimiento de árboles de *N. macrocarpa* desde la década de 1980 (Venegas *et al.*, 2018a). Por lo tanto, es vital abordar el manejo de esta especie, ya que el conocimiento actual permitirá tomar decisiones informadas y sostenibles para las generaciones presentes y futuras. Factores como las presiones humanas, ausencia de información fiable, cambios en su dinámica vegetacional y fenológica, así como la influencia del cambio climático (Venegas *et al.*, 2018a; Venegas *et al.*, 2018b; Venegas *et al.*, 2018c) han llevado a que *N. macrocarpa* en el año 2020 sea catalogado como una especie Vulnerable, de acuerdo con el 16° Proceso de Clasificación de Especies Silvestres, aprobado por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (MMA, 2020).

Son escasas las investigaciones que a nivel nacional han desarrollado índices e identificado los indicadores claves que permiten evaluar el estado de alteración de poblaciones arbóreas, así como las respuestas de las especies a diferentes niveles de alteración en múltiples paisajes (Swihart *et al.*, 2006). Por lo tanto, es relevante examinar varios indicadores asociados a especies arbóreas, construidos a través de procesos complejos y con un enfoque socio - ecológico que incluya la contribución de expertos de diversas áreas y esté relacionado tanto con aspectos locales como técnico – académicos. Esto permitirá avanzar en nuevos conocimientos sobre la conservación y manejo de diferentes especies en diversas categorías de conservación, teniendo en cuenta sus hábitats, siendo estos, los lugares donde viven (Smith y Smith, 2007). Muchas de estas especies, como *N. macrocarpa*, ya presentan patrones de alteración de hábitat tanto por causas antrópicas como naturales (Venegas *et al.*, 2018c). En esta investigación, se utiliza el concepto de la integridad ecológica para definir la alteración de hábitat, que puede considerarse un marco para evaluar el impacto de las actividades antropogénicas y mantener ecosistemas funcionales (Zamora *et al.*, 2014). En esencia la "integridad ecológica" mide métricas o indicadores de estructura, composición y función de un ecosistema (Tierney *et al.*, 2009). La identificación de indicadores y el desarrollo de un índice para la alteración del hábitat debería permitir clasificar las poblaciones de *N. macrocarpa* en niveles de alteración de hábitat, ya sea bajo, medio o alto (Lizana y Gutiérrez, 2019)

En esta investigación, la construcción de un índice basado en indicadores clave desde un enfoque socio – ecológico se ve favorecida por la aplicación de la metodología de evaluación multicriterio (EMC), ampliamente utilizada en estudios de carácter ambiental (Lizana y Gutiérrez, 2019). Esta metodología permite una completa evaluación cuantitativa de las alternativas (Esse *et al.*, 2014), lo que facilita la toma de decisiones transparentes que a menudo involucran numerosos indicadores y subindicadores (Saaty, 2008). La flexibilidad de esta técnica y su capacidad para capturar la opinión de expertos y actores sociales (Esse *et al.*, 2014) hacen que sea posible integrar el enfoque socio –

ecológico en la evaluación. El análisis multicriterio ofrece la oportunidad de establecer estándares metodológicos (Esse *et al.*, 2014) que permitan evaluar la alteración del hábitat en poblaciones de *N. macrocarpa* y generar nuevo conocimiento desde la diversidad biocultural de los territorios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un índice multicriterio para la evaluación del estado de alteración del hábitat en las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

Objetivo específico

- Identificar indicadores de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.
- Determinar indicadores claves de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa* a través de un enfoque socio – ecológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Nothofagus macrocarpa se distribuye en un clima de tipo mediterráneo y en la sección más septentrional del género (Luebert y Pliscoff, 2017). Es una especie arbórea endémica de Chile y crece en la Cordillera de la Costa entre las provincias de Valparaíso y Cachapoal, y en la Cordillera de los Andes, desde la Provincia de Colchagua hasta Linares (García y Ormazabal, 2008). Generalmente se le encuentra en altitudes que van desde los 800 metros hasta los 2.200 metros (García y Ormazabal, 2008). La distribución conocida de la especie consiste en poblaciones aisladas y remanentes (Anexo 1), en sectores del Parque Nacional La Campana (PLC), Santuario de la Naturaleza El Roble (SER), Santuario de la Naturaleza Altos Cantillana (SAC), Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha (RRL), Santuario de la Naturaleza Alto Huemul (SAH) (Venegas *et al.* 2018a) y Reserva Nacional Altos de Lircay (García y Ormazabal, 2008). Dentro de la distribución conocida de la especie se seleccionaron ocho localidades donde se han reportado poblaciones, tratando de abarcar todo el gradiente latitudinal donde está presente. Estas localidades fueron Olmué, Lampa, Alhué, Doñihue, Nancagua, San Fernando, Molina y San Clemente.

En Olmué se encuentra el Parque Nacional La Campana que dispone de dos zonas y accesos a las áreas de uso público, Sector Granizo y Cajón Grande. Biológicamente se caracterizan por la presencia de roblerías de *N. macrocarpa*, desde los 800 a los 1.500 m de altitud, en el cordón que parte del Cerro La Campana, pasando por el cerro Los Penitentes y llegando al morro El Peñón, en laderas de exposición sur (SUBTURISMO, 2019).

En Altos de Chicauma, situado en la localidad de Lampa, en la cordillera de la Costa de la cuenca de Santiago, este sector fue designado como sitio con Prioridad III: De Interés para su Conservación el año 1996, principalmente por sus robledales de *N. macrocarpa*. Hasta la fecha no se ha asignado una nueva figura de conservación. Considerando el concepto de piso de vegetación, aplicado para Chile por Luebert y Pliscoff (2006), en Altos de Chicauma se puede distinguir el piso de vegetacional de bosque caducifolio costero de *N. macrocarpa* y *Ribes punctatum*. Las características del roble de Santiago en esta zona son que es poco frecuente en quebradas a partir de los 900 m s.m., también en laderas sombrías del hábitat esclerófilo montano desde los 1.400 m s.m. y es dominante en el hábitat del bosque caducifolio entre 1.200 y 2.000 m s.m. (García, 2010).

En la localidad de Alhué se encuentra el Fundo San Juan de Piche, esta zona privada, declarada Santuario de la Naturaleza en 2013, se encuentra a unos 65 km al suroeste de Santiago, en una de las regiones administrativas más impactadas por la actividad humana del país. En la localidad se encuentra un bosque relicto prístino de árboles *N. macrocarpa*, donde se obtuvieron pruebas morfológicas y moleculares que apoyan la distinción del nuevo taxón con respecto a otras especies de Chile Central (Charrier *et al.*, 2015).

En las cercanías de Doñihue se encuentran accesos a la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, administrada por CONAF, Región de O'Higgins. Fue creada en julio de 1996 y tiene una superficie de 5.870 hectáreas. Comprende el cordón de cerros que cierra por el sureste la cuenca del estero Carén, donde se ubica el tranque de relaves de la mina de cobre El Teniente de Codelco. La vegetación se compone de bosque esclerófilo, con diferentes especies según la orientación de la ladera. En los sectores altos es reemplazado por el bosque caducifolio de Santiago, cuya especie dominante es *N. macrocarpa*. (Eyzaguirre, 2014).

En la localidad de Nancagua, se encuentran algunos registros sobre la especie, donde se describe que esta localidad se caracteriza por sus cerros cubiertos por el “roble de Santiago” (*N. macrocarpa*). Esta especie es endémica y su hábitat comprende los bosques caducifolios de Santiago y de la montaña (Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca, 2014)

En las proximidades a la comuna de San Fernando se encuentra el Santuario de la Naturaleza Alto Huemul. Dentro de este santuario, se destaca la riqueza de especies arbóreas y las distintas formaciones vegetacionales que coexisten, como el bosque caducifolio conformado por especies de *Nothofagus*. En particular, existe un área dentro del Santuario de la Naturaleza donde se encuentra un bosque maduro de roble de Santiago (*N. macrocarpa*), que se denomina comúnmente como Bosque Catedral, porque los anchos troncos de los árboles se asemejan a las columnas de una catedral (CMN, 2010).

En Molina, se encuentra el Parque Nacional Radal Siete Tazas, ubicado en la Región del Maule, provincia de Curicó. En toda la extensión septentrional de la propiedad, que constituye actualmente la Reserva Nacional Radal Siete Tazas, está presente la formación del Bosque Caducifolio de la Montaña, abarcando 2213 hectáreas, cuya especie predominante o representativa es el Roble de Santiago (*N. macrocarpa*) (CONAF, 2008).

En la comuna de San Clemente se encuentra la Reserva Nacional Altos de Lircay, en la Región del Maule. Esta reserva es una de las 7 unidades del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), a cargo de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). La zona se caracteriza por la dominancia en sus bosques de especies del género *Nothofagus*, siendo un componente florístico destacado en la zona, con una alta diversidad de especies del género, entre los que se menciona la presencia de *N. macrocarpa* (Martínez, 2016).

La distribución conocida de la especie para definir el área de estudio se complementó con una modelación previa de la disponibilidad de hábitat con MaxEnt, junto a una fotointerpretación de bosque caducifolio (Figura 1) realizada en el marco del proyecto “Evaluación de la integridad ecológica de los bosques de *N. macrocarpa*” del FIBN 004/2021. En este proceso, se tuvieron en cuenta los registros de presencia de *N. macrocarpa* y se acotaron los límites bioclimáticos mediante un umbral de altura mínima de 650 m.s.n.m., lo que permitió identificar una zona de mayor probabilidad de presencia de *N. macrocarpa* y evitar la confusión con otras especies del bosque caducifolio.

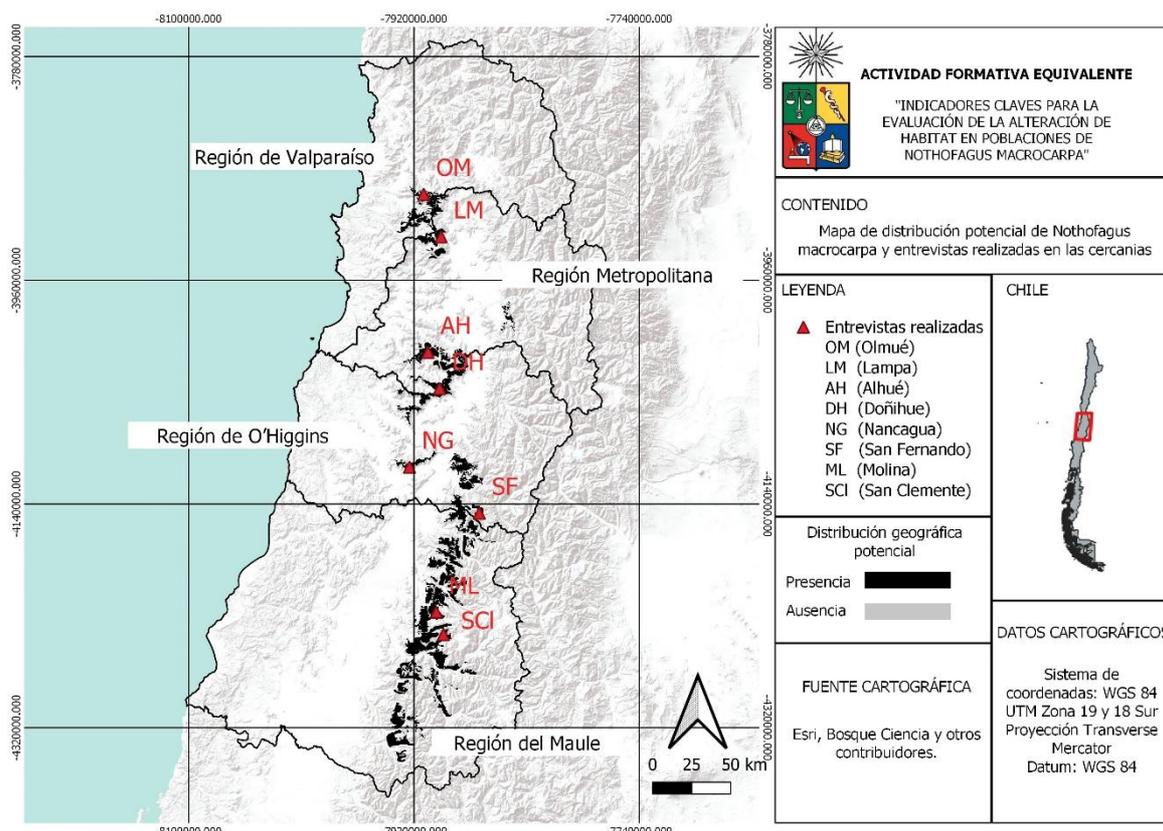


Figura 1. Distribución potencial de la especie y localidades de los expertos locales contactados. Fuente: Evaluación de la integridad ecológica de los bosques de *Nothofagus macrocarpa* del proyecto FIBN 004/2021.

Marco para la evaluación de la alteración de hábitat de los bosques de *Nothofagus macrocarpa*

En este estudio, se adoptó el marco de la integridad ecológica como base para la evaluación de la alteración del hábitat. Este marco permite profundizar sobre el estado de los ecosistemas que han sufrido alteraciones producto de la actividad humana y natural (Karr *et al.*, 2021). Utilizando un conjunto de componentes, tal como se muestra en el esquema de la Figura 2. La estructura se refiere a la organización física de un ecosistema (Noss, 1990). La composición tiene que ver con la identidad y variedad de especies en un ecosistema y puede incluir medidas de diversidad (Noss, 1990). La función se refiere a los procesos ecológicos y evolutivos, como el flujo genético, las perturbaciones y el ciclo de nutrientes (Noss, 1990). Además, en esta investigación, también se tuvieron en cuenta indicadores de la estructura del paisaje, los cuales están relacionados con la complejidad espacial de un lugar y cuyas características son elementos clave para comprender un hábitat (Noss, 1990).

Se seleccionaron indicadores clave de acuerdo con los diferentes niveles de organización biológica, en particular a nivel de población-especie, comunidad- ecosistema y de paisaje regional (Noss, 1990). Estos indicadores permiten identificar relaciones entre factores de estrés y efectos en el sistema (Tierney *et al.* 2009), además de ser ampliamente aplicados a las poblaciones de *N. macrocarpa*. Los puntos de evaluación se establecieron a través de indicadores que distinguen entre condiciones deseables o aceptables y condiciones indeseables (Bennetts *et al.*, 2007). Definiendo así el grado de alteración de hábitat.

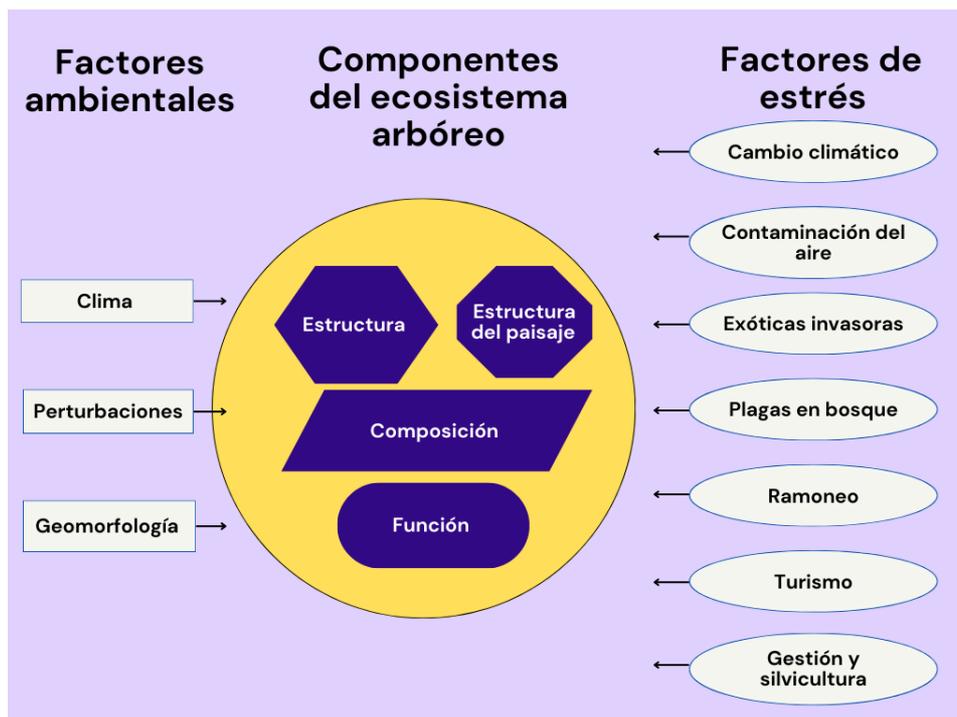


Figura 2. Modelo conceptual de la integridad ecológica (Tierney *et al.* 2009).

Identificación de indicadores para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*

a) Selección de indicadores a través de revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica con el propósito de seleccionar indicadores clave para evaluar la alteración del hábitat de especies arbóreas. Se definió un indicador como cualquier métrica o variable de un bosque y su entorno, que pudiera ser utilizado para inferir el estado actual de intervención antrópica y natural en el bosque (Navarro *et al.*, 2008) y, por lo tanto, su nivel de alteración del hábitat.

Esta revisión se enfocó en la búsqueda de artículos científicos, tesis y documentos de divulgación científica relacionados principalmente con *Nothofagus macrocarpa*. En los casos donde la literatura sobre la especie en relación con algún indicador fuera limitada, ampliamos nuestra revisión para incluir indicadores utilizados en especies deciduas del género *Nothofagus* y en bosques templados deciduos. Se seleccionaron indicadores clave que permitieran evaluar el grado de alteración de los bosques de *N. macrocarpa* en diferentes niveles de organización biológica, incluyendo población-especie, comunidad-ecosistema y paisaje regional (Noss, 1990). Además, tuvimos en cuenta que estos indicadores estuvieran relacionados con las componentes de estructura, composición, función y la estructura del paisaje.

Se utilizaron diversos motores de búsqueda como ISI Web of Science, Scholar Google, Researchgate, JSTOR, ELSEVIER, Scielo y repositorios de universidades. La búsqueda se amplió también a documentos técnicos publicados por instituciones medioambientales de Chile, como la Corporación Nacional Forestal (CONAF) o el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), así como instituciones ambientales con alcance internacional, como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Cada material bibliográfico se analizó en función del título, las palabras claves y el contenido, tanto en inglés como en español. Las palabras clave consideradas para el análisis incluyeron: alteración de hábitat, indicadores de estructura, composición, función y estructura del paisaje, indicadores de alteración de bosque, *Nothofagus macrocarpa*, *Nothofagus*, disturbios antrópicos y degradación del bosque. Se seleccionaron los tres o cuatro indicadores claves más recurrentes por componente en la bibliografía y que fueran aplicables a las poblaciones de *N. macrocarpa*.

b) Selección de indicadores a través de criterio de expertos locales

Los expertos locales son individuos con conocimientos relacionados a las prácticas del entorno natural en el que habitan. Estos conocimientos, surgidos de la experiencia, definen el saber local y han permitido a los miembros de la comunidad enfrentar los desafíos históricos presentados por su entorno (Landini, 2010). Se realizaron entrevistas en persona con ocho expertos locales en las cercanías de diversas localidades y áreas protegidas relacionadas con *N. macrocarpa*. En la Figura 1, se presentan las localidades donde se identificó la presencia de *N. macrocarpa* y donde se entrevistó a un único actor local en las proximidades.

Se contactó a estos expertos locales a través de la administración en diferentes áreas protegidas del Estado, y en otros casos, de acuerdo con una búsqueda a través de diferentes redes y contactos de organizaciones. Estos habitantes locales han vivido gran parte de su vida en la zona y han presenciado los cambios en el bosque a lo largo del tiempo en cada una de las ocho localidades seleccionadas. Se les contactó para coordinar la posibilidad de una entrevista presencial, se les explicó el propósito de la investigación, se solicitó su consentimiento informado y se les realizó una entrevista (Apéndice 1) junto con una cartografía conjunta para identificar los elementos vitales de las poblaciones de *N. macrocarpa* en relación con cada una de las componentes de estructura, composición, función y estructura del paisaje, utilizando un lenguaje claro y sencillo.

Las cartografías conjuntas, entendidas como ejercicios de creación (Gil y Gómez, 2019), se realizaron con el propósito de reconocer e incorporar el conocimiento espacial local, identificar elementos de la diversidad biocultural en la zona y enriquecer el estudio. Esto le confirió un carácter más socio – ecológico y permitió una gestión más participativa y sustentable (Álvarez y McCall, 2019). Antes de cada entrevista, se delimitó el sector para la cartografía conjunta en un sistema de información geográfico (GIS), teniendo en cuenta elementos de referencia que facilitaron la comprensión, como carreteras, nombres de quebradas, puntos de interés turístico de la zona, entre otros, que se relacionaban con la población de *N. macrocarpa* más cercana al entrevistado. Posteriormente, se utilizó el mapa cartográfico en la entrevista. Las preguntas realizadas eran de carácter abierto, es decir, aquellas en las que se proporciona el máximo grado de libertad para expresar la respuesta (Meneses, 2016). Las preguntas utilizadas en esta investigación y la justificación de ellas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Preguntas utilizadas para la recolección de datos.

Preguntas	Tipo de pregunta	Justificación
1.- ¿En qué sectores de la cartografía ha visto o sabe que está presente el roble de Santiago o roble blanco?	Abierta	Límites y presencia de la especie.
2.- ¿Qué tipo de eventos han causado daño a las poblaciones históricamente?	Abierta	Alteraciones naturales y antropogénicas históricas.
3.- ¿De lo que conoce y ha percibido del bosque de <i>Nothofagus macrocarpa</i> qué le indica a usted que las poblaciones están cada vez más alteradas?	Abierta	Indicadores clave.

Las entrevistas, las conversaciones y el uso de la cartografía conjunta jugaron un papel fundamental en la identificación de indicadores clave para evaluar la alteración del hábitat desde una perspectiva local, con un enfoque socio - ecológico. Gracias a este enfoque, se logró identificar, al menos, un indicador por cada componente de estructura, composición, función y estructura del paisaje, en cada una de las entrevistas.

Para seleccionar los indicadores clave en estas entrevistas se llevó a cabo una tabulación de la información. Esto permitió comparar percepciones y opiniones esenciales de las entrevistas en función de las definiciones de estructura, composición, función y estructura del paisaje y los distintos niveles de organización biológica. En otras palabras, si un comentario estaba más vinculado con alguna de las componentes mencionadas anteriormente, se categorizaba utilizando colores: celeste para la estructura, amarillo para la composición, rojo para la función y verde para la estructura del paisaje. Esta metodología facilitó la identificación de patrones y coincidencias en los comentarios de los expertos. Posteriormente, contrastamos dichos comentarios con la bibliografía relevante y juicio personal, lo que posibilitó realizar un análisis interpretativo de la información recopilada.

Por último, es importante destacar que los expertos locales entrevistados fueron contactados nuevamente para completar un cuestionario que contribuyó a la evaluación multicriterio.

c) Selección de indicadores a través de entrevistas a expertos técnicos – científicos

Los expertos técnico-científico fueron aquellos centrados en la difusión, adaptación y generación de conocimiento (Landini, 2010) sobre las poblaciones de *N. macrocarpa*. Estos expertos se identificaron mediante criterios específicos, como la cantidad de citas bibliográficas distribuidas en publicaciones, tesis o proyectos en los que estuvieran específicamente involucrados con *N. macrocarpa*, dentro de un período de hasta veinte años.

De entre los expertos técnico-científico identificados, se seleccionaron a los tres con mayor cantidad de citas bibliográficas (Apéndice 2) relacionadas específicamente con *N. macrocarpa*. Estos expertos fueron contactados tanto de forma presencial como por correo electrónico, y se les proporcionó un consentimiento informado para llevar a cabo una entrevista (Apéndice 3).

La información recopilada de las entrevistas se organizó de manera sistemática, y los indicadores mencionados por los expertos se filtraron según las categorías de estructura, composición, función y estructura del paisaje, de acuerdo con los colores celeste, amarillo, rojo y verde respectivamente. Al igual que en el caso de los expertos locales, se llevó a cabo un análisis interpretativo de la información basado en la bibliografía recopilada, las definiciones de cada componente a diferentes niveles de organización biológica y el juicio personal. La selección de los indicadores clave se fundamentó en el número de menciones de cada indicador por parte de los tres expertos entrevistados. Estos expertos técnico-científicos fueron contactados nuevamente en una etapa posterior de la investigación para completar un cuestionario destinado a la evaluación multicriterio de los indicadores.

d) Equilibrio en las fuentes de información

La selección definitiva de los indicadores clave de alteración de hábitat en poblaciones de *N. macrocarpa* se basó en un equilibrio entre la información obtenida de la revisión bibliográfica y el análisis interpretativo de las entrevistas realizadas a expertos locales y técnicos-científicos. El criterio principal de selección fue la frecuencia con la que se mencionó más de un indicador entre las fuentes de obtención.

Determinación de indicadores clave de alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*

Tipo de muestreo

La determinación de los indicadores clave se llevó a cabo mediante cuestionarios dirigidos a un amplio grupo de personas en los diversos territorios que contribuyen a la diversidad biocultural de las poblaciones de *N. macrocarpa*. Se utilizó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, que consiste en seleccionar casos representativos de una población, limitando la muestra a estos casos específicos (Otzen y Manterola, 2017).

Los expertos considerados para los cuestionarios fueron los expertos locales y técnico – científicos contactados previamente para las entrevistas en el objetivo anterior y que contribuyeron a la selección de indicadores clave. Además, se incluyeron profesionales de organizaciones no gubernamentales, del sector privado y servicios públicos, que trabajan en el ámbito civil, público o privado y tienen conocimientos diversos en ciencias

naturales y ecológicas, con énfasis en el bosque nativo o cuyo campo de acción o investigación esté relacionado con la especie de estudio. También se consideraron profesionales académicos que hayan trabajado con *N. macrocarpa* en proyectos, o como profesores guía de una tesis u memoria de título en los últimos 20 años, junto con académicos con conocimientos en ecología de bosques. En cuanto a las ONG y organizaciones, se contactó a una persona con conocimiento sobre la especie. En total, se encuestó a 24 personas, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de los participantes identificados para las encuestas

Categoría	Origen de los participantes	Número de participantes
Expertos con conocimientos locales	Olmué – Doñihue – Lampa – Molina – Caleu	5
Profesionales técnicos en áreas protegidas	Parque Nacional la Campana – Santuario de la Naturaleza San Juan de Piche – Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha – Santuario de la Naturaleza Alto Huemul – Reserva Nacional Altos de Lircay – Santuario de la Naturaleza Cerro Poqui	6
Profesionales del Servicio Público	CONAF RM – Proyecto GEF Corredores – CONAF Valparaíso	3
Profesionales de la Academia	Universidad de Concepción – Universidad de Chile – Universidad de O’ Higgins	6
Profesionales de organizaciones Privada	Fundo Santa Victoria	1
Profesionales de Organización no gubernamental (ONG)	Fundación Roble Alto de Lampa – Fundación Añañuca – Organización Reverdecido	3

Recolección de datos

La metodología de la evaluación multicriterio incorporó la opinión o percepción de los actores en los indicadores que componen el modelo de evaluación (Esse *et al.*, 2014) para la alteración del hábitat. Se utilizó un cuestionario (Apéndice 4) con el objetivo de orientar la priorización de indicadores clave para definir la alteración de hábitat en las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

En este cuestionario, se solicitó información básica del entrevistado, se presentó una introducción a la investigación y se abordó la valorización de los indicadores. Esto para obtener datos cuantitativos que pudieran ser tratados estadísticamente a partir de la información proporcionada por los expertos (Meneses, 2016). Las preguntas realizadas en el cuestionario eran de tipo cerrado, lo que significa que se ofrecían diferentes alternativas para que el participante eligiera (Meneses, 2016).

Se proporcionaron diversas tablas a través de un archivo de Excel, que contenían los distintos indicadores seleccionados de estructura, composición, función y estructura del paisaje. Para cada pareja de indicadores clave, los participantes debieron elegir uno de los dos, ya sea el de la izquierda o el de la derecha, según el grado de priorización para definir la alteración en poblaciones de *N. macrocarpa*. A cada criterio seleccionado se le asignó un puntaje en una escala del 1 al 9, según se muestra en el Anexo 2, para su valorización.

El diseño del cuestionario tuvo como objetivo recopilar información sobre la valoración y jerarquización de los indicadores seleccionados en la primera parte de esta investigación. Los cuestionarios se aplicaron de diversas maneras a los grupos de expertos, ya sea de manera presencial en algunos casos, enviados por correo electrónico en otros, o por llamada telefónica, dependiendo de las circunstancias y la disponibilidad de los expertos identificados. Previamente a la encuesta, se contactó a los encuestados para explicarles el propósito y los objetivos de la investigación, proporcionándoles un material que resumía los indicadores seleccionados. Luego, se procedió a realizar la encuesta.

Valorización y jerarquización de los indicadores

La valorización y jerarquización de los indicadores se realizó mediante el proceso de análisis jerárquico (Saaty, 2008) en encuestas. Este proceso implica asignar valores del 1 al 9 a los indicadores en pares seleccionados, según su importancia, como se muestra en el Anexo 2, utilizando el inverso del número para el indicador no seleccionado. Como se mencionó anteriormente, la valoración se obtuvo a partir de las respuestas individuales de los diferentes expertos, con el objetivo de crear una matriz de comparación por pares.

Después de obtener la matriz de comparación, esta se normalizó dividiendo cada elemento por la suma de la columna correspondiente. Una vez que la matriz estuvo normalizada, se calculó el peso relativo de cada indicador (w) tomando el promedio por fila en cada una de las matrices de comparación por pares obtenidas de los cuestionarios (Saaty, 2008).

Análisis de consistencia de juicios

Para evitar que la decisión se base en juicios de consistencia tan bajos que parezcan aleatorios (Salas, 2011), se calculó un índice de consistencia que mide la inconsistencia global de los juicios, y cuyo valor no debe superar el 10% (Salas, 2011). Esto es necesario para asegurar que la agregación de los juicios emitidos por los expertos fuera consistente y los valores coherentes (Lizana y Gutiérrez, 2019). Para calcular el cociente de consistencia (RC) utilizamos la Ecuación 1:

$$RC = \frac{\text{Índice de consistencia (CI)}}{\text{Índice aleatorio}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la ecuación 1, el índice de consistencia se calcula mediante el valor del vector suma y depende del número de indicadores, como se muestra en la Ecuación 2:

$$CI = \frac{\alpha_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde α_{\max} es el vector suma, y n es el número de indicadores

Por otra parte, el vector suma se calculó de acuerdo con el producto entre el vector de cada par y el peso relativo, el cual se estableció de acuerdo con la matriz de comparación por pares, como se muestra en la Ecuación 3.

$$\alpha_{\max} = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n) \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, x es el valor de cada par por columna y w es el peso relativo

El índice aleatorio se calculará de acuerdo con la siguiente Ecuación 4 (Saaty, 2008).

$$\text{Índice aleatorio} = \frac{1,98(n-2)}{n} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde n es el número de indicadores

Posterior al análisis de consistencia, se realizó una Agregación de Prioridades Individuales (Saaty, 2008) mediante la media geométrica (MG) utilizando la Ecuación 5, lo que permitió obtener las prioridades del grupo e integraron los pesos difusos de los tomadores de decisiones.

$$MG = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde n es el número de personas encuestadas, xi es el valor por filas de la matriz de comparación por pares

Por último, a los resultados de la media geométrica también se les aplico un análisis de consistencia.

Desarrollo de un índice multicriterio

Los pesos relativos obtenidos de la evaluación multicriterio de los indicadores clave se utilizaron para generar una propuesta de índice que evalúe la alteración de hábitat desde un enfoque socio - ecológico. Para la generación de este índice multicriterio, se utilizaron los tres indicadores con mayor peso relativo en cada una de las componentes de la integridad ecológica y se generó un índice aditivo. Esto posibilita la ponderación de los indicadores involucrados (Rojas *et al.*, 2010) y considerar que no son todos los indicadores son equivalentes, sino que contribuyen en mayor o menor medida al proceso (Rojas *et al.*, 2010). Esto ayuda a definir la alteración de hábitat para cada una de las componentes (IAHC) (Ecuación 6).

$$IAHC = \sum_{i=1}^n (w_n \cdot x_n) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde w_n es el peso relativo y x_n es el valor del indicador

Para evaluar la alteración de hábitat en la población, se utilizaron los índices generados anteriormente. Estos índices se sumaron y se multiplicaron por sus respectivos pesos relativos obtenidos de la evaluación multicriterio. De esta manera, se desarrolló el Índice para la Evaluación del nivel de Alteración de Hábitat (IEAH) en poblaciones de *N. macrocarpa* (Ecuación 7).

$$IEAH = \sum_{i=1}^c (IAHC_c \cdot w_c) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde IE_c es el índice por componente y w_c es el peso relativo por cada componente.

RESULTADOS

a) Indicadores clave seleccionados a través de revisión bibliográfica

El resultado de la búsqueda bibliográfica sobre los aspectos que caracterizan la alteración del hábitat en las poblaciones de *N. macrocarpa*, llevó a recopilar un total de 65 documentos distintos (consulte el Anexo 3). A partir de estos documentos, se identificaron 14 indicadores clave para cada una de las componentes, utilizando la información disponible en la literatura (ver Figura 3).

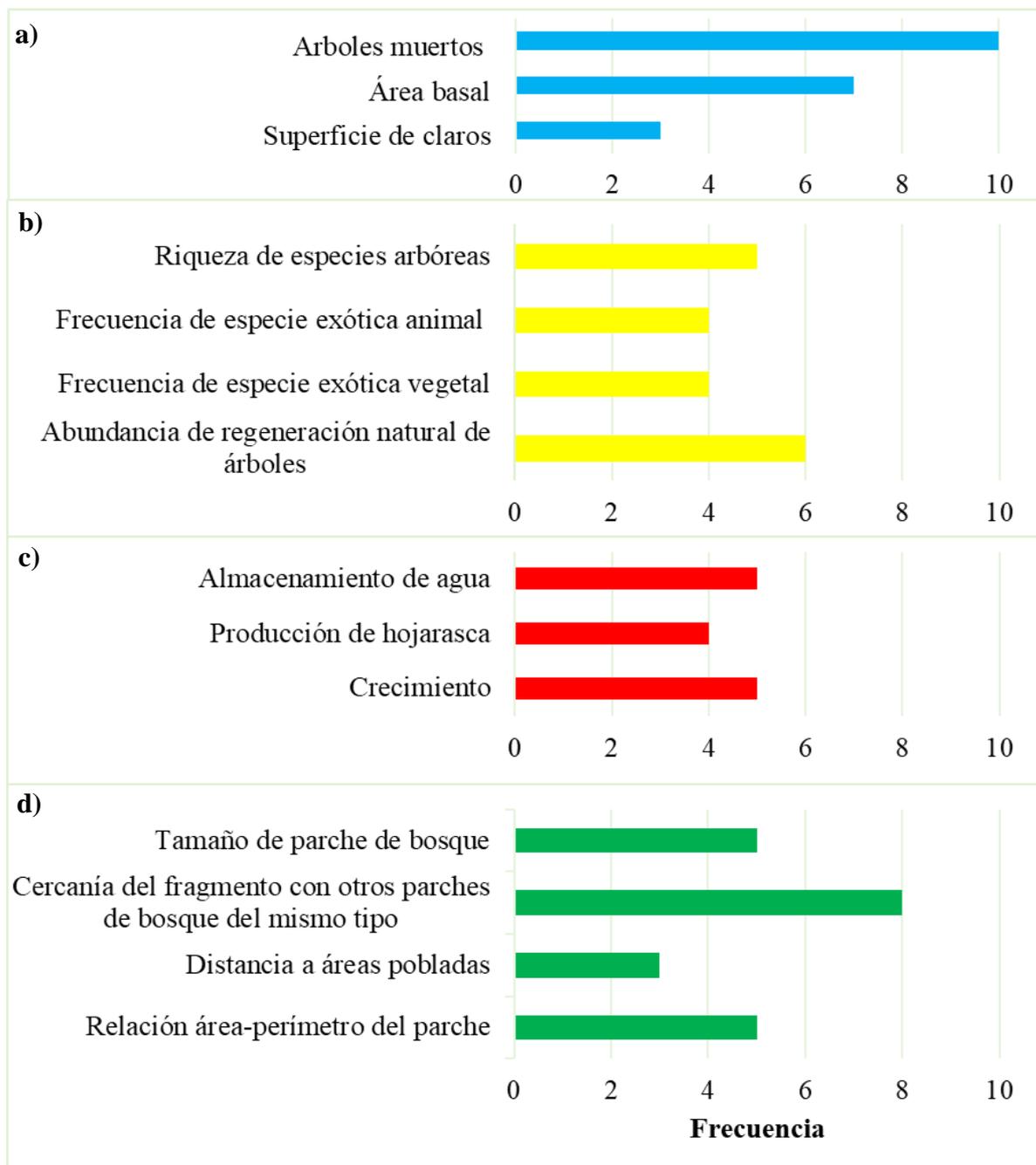


Figura 3. Frecuencia de indicadores de alteración de hábitat para los componentes de a) estructura, b) composición, c) función y d) estructura del paisaje, a través de la revisión bibliográfica

1. Selección de indicadores clave de estructura a través de revisión bibliográfica

La distribución de la bibliografía recopilada y el número de citas que respaldaron la elección de los indicadores clave (Apéndice 5) de estructura se presentan en la Figura 3a. En total, se recopilaron 20 estudios, lo que permitió identificar tres indicadores clave de estructura para las poblaciones de *N. macrocarpa*: árboles muertos, área basal y superficie de claros. A continuación, se detallan los argumentos técnicos en la determinación de los indicadores clave de estructura:

1.1. Árboles muertos

Los árboles muertos representan un componente fundamental en la estructura de los ecosistemas, ya que su presencia puede indicar problemas de salud en el bosque o señalar el estrés ambiental causado por factores tanto antrópicos como naturales (Tierney et al., 2009). Las poblaciones de *N. macrocarpa* enfrentan eventos climáticos extremos que pueden tener efectos profundos, rápidos y prolongados en los ecosistemas y paisajes forestales donde se encuentra esta especie. Esto es especialmente relevante cuando estos eventos climáticos están asociados a la muerte de numerosos árboles de esta especie, la cual juega un papel clave en el ecosistema (Canales, 2020). En este sentido, la inclusión del indicador de árboles muertos en el estudio se basa en la perspectiva de que su aumento puede generar una mayor alteración, especialmente cuando se superan ciertos umbrales críticos. Además, este indicador se relaciona con los efectos de la sequía y contribuye, en su conjunto, a la evaluación de la alteración del hábitat en las poblaciones de *N. macrocarpa*.

1.2. Área basal

El indicador de área basal se utiliza para determinar el tamaño de los árboles que conforman un rodal (Hernández et al., 2013). Un aumento en este indicador suele indicar la dominancia de los bosques (Segar, 2003), y en el caso de *N. macrocarpa*, las poblaciones actuales deberían estar compuestas principalmente por esta especie. Es relevante mencionar que, hasta la fecha, no se han realizado estudios específicos sobre el área basal de esta especie (Delgado, 2008).

1.3. Superficie de claros

La presencia y tamaños de los claros en el dosel pueden considerarse un indicador de la integridad de los bosques (Gutiérrez et al., 2021). Estos claros alteran la estructura de las especies en un ecosistema y, por lo tanto, pueden influir en los niveles de alteración del hábitat en una población. Varias especies del género *Nothofagus* aprovechan la formación de claros en el dosel para su regeneración, lo que afecta la dinámica de regeneración del bosque (Oyarzún et al., 2019). Sin embargo, a pesar de que la dinámica de claros puede favorecer una estratificación estable en el dosel de estos bosques a medida que se desarrollan (Oyarzún et al., 2019), un aumento constante de estos claros puede afectar a las poblaciones de *N. macrocarpa*. Esta dinámica de claros, que a menudo depende de la intensidad y severidad de las perturbaciones tanto antrópicas como naturales, crea condiciones que permiten que nuevas especies del bosque esclerófilo se establezcan, lo que a su vez puede afectar la comunidad de plantas (Aravena, 2018) y alterar las condiciones del hábitat actual de las poblaciones de *N. macrocarpa*.

2. Selección de indicadores clave de composición a través de revisión bibliográfica

Para el componente relacionado a la composición se revisaron un total de 19 documentos (Apéndice 6), dando como resultado la identificación de cuatro indicadores clave, para ayudar a definir la alteración de hábitat en poblaciones de *N. macrocarpa*, la distribución de la bibliografía recopilada se muestra en la Figura 3b. La selección de los indicadores clave de composición, se realizó de acuerdo con ciertos argumentos técnicos asociados al

objetivo de definir la alteración de hábitat, estos indicadores fueron respaldados de acuerdo con la siguiente información:

2.1. Abundancia de la regeneración natural de árboles

La regeneración de árboles refleja la cantidad y composición de las plantas establecidas, así como la futura composición del dosel y el estado de la población (Tierney *et al.*, 2009). Los bosques de *N. macrocarpa* están experimentando procesos regresivos que indican una disminución en la regeneración natural, causada por una alteración en la capacidad de retención de agua del ecosistema (Paratori, 2009). En este sentido, las formaciones vegetacionales de *N. macrocarpa* son extremadamente frágiles y dependen en gran medida de la regulación interna del bosque durante la estación desfavorable (Paratori, 2009). La especie se caracteriza por tener principalmente regeneración vegetativa, donde la mayoría de los individuos no ha alcanzado la madurez reproductiva. Sin embargo, se ha observado que algunos individuos producen semillas, y algunas de ellas germinan, pero las plántulas no logran sobrevivir (Alcaras, 2010). El manejo de estas poblaciones se basa en gran medida en la continuidad del estrato arbóreo, que depende de la regeneración natural de estos bosques. Sin embargo, se ha estudiado de manera limitada el éxito de la regeneración a largo plazo en Chile central (Bahamonde *et al.*, 2013).

2.2. Frecuencia de especie exótica vegetal

Este indicador, según Noss, 1990, puede ser clasificado dentro de la categoría de composición porque tiene que ver con la variedad y lista de especies de una comunidad. Las plantas exóticas en los sistemas naturales se han convertido en una de las principales preocupaciones en los últimos tiempos, debido al creciente número de especies que están alterando nuevos hábitats (Tierney *et al.*, 2009). Estas especies exóticas son aquellas que se han naturalizado y tienen el potencial de propagarse en un área considerable (Saldías, 2017). Las especies exóticas vegetales compiten con la flora nativa por espacio, luz, agua y nutrientes, y se ven muy favorecidas por una alta producción de frutos y semillas de fácil dispersión (Saldías, 2017). Además, constituyen una de las principales causas de pérdida de diversidad biológica, lo que es más grave en aquellos ecosistemas geográfica y evolutivamente aislados, como es el caso de *N. macrocarpa*. Por último, es relevante considerar que las perturbaciones de origen antrópico favorecerían tanto la invasión de plantas como de visitantes florales exóticos (Aizen *et al.*, 2002), siendo este un indicador de alteración de hábitat para cualquier población arbórea.

2.3. Frecuencia de especie exótica animal

La frecuencia de especies animales de carácter exótico como indicador tiene implicancias de suma importancia para las poblaciones de *N. macrocarpa*. El ramoneo producto de estas especies es un factor de estrés clave que afecta sustancialmente el establecimiento de plántulas (Tierney *et al.*, 2009). En muchos casos, este factor explica el escaso éxito de la regeneración en muchas de las poblaciones de *N. macrocarpa* (Venegas-González *et al.*, 2018a).

Los efectos que provoca la introducción de especies en una zona distinta a la de su origen son generalmente imprevisibles. Aunque no siempre se convierten en especies invasoras, es esencial adoptar medidas de precaución (PNUD, 2017) para reducir la alteración del

hábitat. La presencia de estas especies también contribuye a uno de los principales componentes del cambio global, con consecuencias negativas para la biodiversidad (PNUD, 2017). Sin embargo, es importante destacar que el impacto real de las invasiones biológicas en los ecosistemas del país, especialmente en relación con las poblaciones de *N. macrocarpa*, sigue siendo desconocido. Esto se debe a que las investigaciones sobre invasiones biológicas en este contexto han sido realizadas de manera ocasional (Castro-Pastene *et al.*, 2019).

2.4. Riqueza de especies arbóreas

La riqueza de especies es un indicador de composición (Noss, 1990), que permite identificar la diversidad de especies arbóreas presentes en cada bosque (Muñoz *et al.*, 2013). La riqueza se refiere a la presencia/ausencia de las especies y representa simplemente la cantidad de especies presentes en el sector (Litton y Santelices, 1996). Se ha constatado que la continua fragmentación y pérdida de bosques templados han afectado la riqueza, la abundancia y diversidad de estos, además de la persistencia de las poblaciones (Otavo y Echeverría, 2017). El indicador de riqueza arbórea ayuda a establecer una serie de características que definen a los bosques del Cono Sur de Sudamérica debido a su prolongado aislamiento geográfico (CONAF, 2011). Esto permite determinar las especies claves (SEIA, 2015) en el momento, ya que las poblaciones dominadas por *Nothofagus* representan etapas sucesionales derivadas de una larga historia de fenómenos catastróficos, los cuales impiden su reemplazo por especies tolerantes a la sombra. Dado que las plántulas de los *Nothofagus* son relativamente intolerantes, estos son gradualmente reemplazados por especies tolerantes (Donoso, 2007), y un aumento o cambio en la riqueza es un indicador de alteración y desplazamiento natural.

3. Selección de indicadores clave de función a través de revisión bibliográfica

Nuestra revisión bibliográfica (Figura 3c) enfocada en los aspectos de función llevó a recopilar 14 documentos (consulte el Apéndice 7). Estos documentos desempeñaron un papel fundamental en la identificación y selección de tres indicadores clave para la definición de la alteración del hábitat en las poblaciones de *N. macrocarpa*. Los indicadores clave seleccionados para la función, que corresponden al crecimiento, producción de hojarasca y el almacenamiento de agua, se respaldan de acuerdo con la siguiente información:

3.1. Crecimiento

El crecimiento ofrece información relevante sobre procesos clave del ecosistema que son fundamentales para su función (MMA *et al.*, 2016). En Chile, a partir de la década de los 60, los bosques de segundo crecimiento, como los bosques de *N. macrocarpa*, conocidos también como renovales, han cobrado creciente importancia económica. Estos renovales se originan como resultado de fenómenos catastróficos derivados de fuerzas naturales o influencias de carácter antrópico, como la habilitación de áreas boscosas para la agricultura, ganadería y abandono posterior (Ugarte, 2014). En este sentido, el crecimiento es un indicador relevante de la alteración de hábitat, ya que constituye una métrica integradora de la salud y la vitalidad de los árboles. Por ejemplo, la disminución del crecimiento puede indicar un problema de salud particular o un estrés ambiental regional (Tierney *et al.*, 2009). Además, las bajas tasas de crecimiento pueden estar

relacionadas con factores climáticos que desencadenan tendencias negativas en el crecimiento de los árboles (Rodríguez-Catón y Villalba, 2017). El bosque de *N. macrocarpa* presenta una baja tasa de crecimiento en diámetro y altura debido a las condiciones ambientales y la estructura del bosque, que influyen en los niveles de competencia por luz y agua entre los vástagos. Sin embargo, actualmente no existen antecedentes sobre el crecimiento en altura y diámetro de *N. macrocarpa* (Delgado, 2008), lo que resalta su importancia para evaluar de manera adecuada los niveles de alteración de hábitat con este indicador.

3.2. Producción de hojarasca

Los efectos de la fragmentación y la alteración del hábitat afectan los procesos de producción y descomposición de la hojarasca (Palacios, 2003). Este aspecto se vuelve esencial como indicador para comprender la transferencia de energía y nutrientes hacia el suelo, ya que constituye un flujo que aporta una importante fracción de nutrientes en bosques deciduos (Doll *et al.*, 2018). Además, la producción y descomposición de la hojarasca son fundamentales en el ciclaje de nutrientes. Una alta producción de hojarasca puede dar lugar a la acumulación de esta en el horizonte superficial del suelo, incrementando la biomasa y la profundidad de la hojarasca, lo que a su vez conduce a la acumulación de nutrientes en el horizonte superficial del suelo (Moreno *et al.*, 2018). A pesar de que en Chile se han realizado numerosas investigaciones sobre la producción y descomposición de hojarasca en distintos tipos de bosques, no existen estudios que determinen el efecto de la fragmentación (Palacios, 2003) y la alteración del hábitat sobre estos procesos, especialmente en las poblaciones de *N. macrocarpa*. Es importante tener en cuenta que la variabilidad anual en la producción de hojarasca en bosques dominados por especies deciduas está directamente influenciada por las condiciones climáticas prevalecientes (Doll *et al.*, 2018).

3.3. Almacenamiento de agua

Las características del bosque permiten que este ecosistema funcione como un recolector natural de agua, actuando como un reservorio o "almacén" natural (Frene *et al.*, 2014). Un menor contenido de agua podría indicar una baja cobertura arbórea, lo que está relacionado con una mayor evapotranspiración del suelo y una menor densidad arbórea. En consecuencia, una menor cobertura podría repercutir en una disminución de la cantidad de hojarasca en el suelo, lo que podría favorecer una mayor evapotranspiración (Alfaro, 2018).

Por otro lado, factores micro climáticos, como la humedad y la temperatura, influyen en diversos procesos ecológicos, como la materia orgánica del suelo (Rivas *et al.*, 2007) y el almacenamiento de agua proveniente de la nieve. En los Andes centrales de Chile, la altitud de la isoterma 0°C ha aumentado debido al incremento de las temperaturas. Esto ha provocado una reducción del área andina que almacena nieve. En la práctica, estos cambios significan que nuestro "almacén natural de agua" en forma de nieve está disminuyendo de nivel (CORMA, 2015), lo que afecta a las poblaciones de *N. macrocarpa*.

Es crucial resaltar que las funciones de un bosque con especies caducas se ven influidas por la interacción de procesos hídricos, la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de perturbación (Rempel *et al.*, 2016). En este sentido, la medición del almacenamiento de

agua es una de las variables más complejas, refiriéndose a la cantidad de agua presente en el suelo del bosque y relacionándose con la capacidad del suelo para retener agua (contenido máximo). Métodos recomendables para medir el contenido máximo incluyen el cálculo mediante el método gravimétrico o a través de la eficiencia de uso de agua a nivel ecosistémico (Silva *et al.*, 2015).

4. Selección de indicadores clave de la estructura del paisaje a través de revisión bibliográfica

La selección de los indicadores clave relacionados a la estructura del paisaje se basó en la revisión de 21 documentos (Apéndice 8), y la distribución de las fuentes consultadas se muestra en la Figura 3d. Esto resultó en la selección de cuatro indicadores clave que pueden contribuir a la definición de la alteración de hábitat en poblaciones de *N. macrocarpa*. Los argumentos técnicos para la selección de los indicadores clave de la estructura del paisaje fueron los siguientes:

4.1. Relación área-perímetro del parche

Este indicador de paisaje es una de las medidas más comunes de la complejidad de una forma, ya que se basa en la cantidad relativa de perímetro por unidad de área, normalmente indexada en términos de una relación perímetro-área. La interpretación varía entre las distintas métricas de forma, pero en general, los valores más altos indican una mayor complejidad de la forma (McGarigal, 2013) (Figura 4). La relación área-perímetro del parche se puede considerar una métrica de fragmentación (Inostroza, 2021), que está relacionada con la alteración de hábitat.

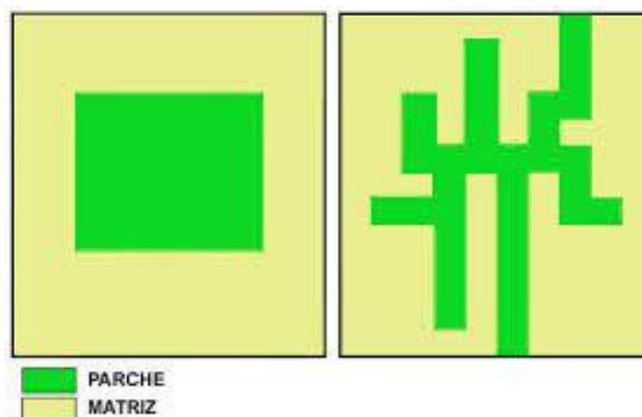


Figura 4. Parches de igual área, pero diferente perímetro (Matteucci, 2004)

4.2. Distancia a áreas pobladas

Este indicador proporciona información sobre el potencial de fragmentación en cualquier fragmento que sea susceptible de reducción, convirtiéndolo en un indicador de amenaza para la biodiversidad. El aumento de las perturbaciones antrópicas en los hábitats, debido a actividades como la agricultura, el desarrollo urbano y la construcción de carreteras, provoca fragmentación y alteración significativa (Leichter *et al.*, 2015). Al utilizar métricas de paisaje de este tipo, es posible reconocer la diversidad de elementos estructurales y procesos que ocurren simultáneamente, como la dominancia de diferentes

procesos en función de la distancia al centro urbano (Vergara y Ibarra, 2019). Además, considerando la situación actual de las poblaciones de *N. macrocarpa*, el aumento de la distancia a estos centros urbanos es preferible para disminuir la alteración del hábitat. Es importante destacar que el conocimiento y la evaluación de las interacciones entre el bosque y la ciudad son factores fundamentales para determinar las posibilidades de utilización, ya sea en aspectos de producción, conservación o regulación (Alvis, 2009).

4.3. Cercanía del fragmento con otros parches de bosque del mismo tipo

La pérdida de ambientes naturales se erige como una de las principales amenazas para la biodiversidad a nivel global, dado el incremento y la intensificación de actividades humanas (Gorostiaga *et al.*, 2021). Las consecuencias de esta pérdida incluyen la simplificación y fragmentación del paisaje, caracterizadas por un aumento en la densidad de parches o fragmentos de bosque. Este escenario, como bien indican Gorostiaga *et al.*, 2021, se genera una notable alteración en la estructura del paisaje. En este contexto, se vuelve imperativo otorgar prioridad a los fragmentos de bosque que se encuentren en cercanía a las áreas boscosas ya existentes (Uribe *et al.*, 2014). La proximidad entre fragmentos de bosque de un mismo tipo y su conectividad inherente posibilita una mayor dispersión de semillas de especies nativas del bosque, lo que a su vez impulsa el proceso de regeneración (Lizana, 2017).

Este indicador permite evaluar la forma en función de la conectividad y la proximidad entre fragmentos del mismo tipo (Aguilera, 2010). Es un indicador particularmente útil para evaluar paisajes caracterizados por un "alto contraste", en los cuales el hábitat de interés se distingue claramente de la matriz circundante (Gustafson and Parker, 1994). Es de importancia resaltar que tanto la distancia entre fragmentos como su tamaño pueden influir negativamente en las especies locales de flora y fauna. Por ejemplo, pueden actuar como barreras al movimiento de especies potencialmente colonizadoras, limitando de este modo la variabilidad genética (Malfetoni *et al.*, 2018).

4.4. Tamaño de parche de bosque

El tamaño del bosque ejerce un fuerte impacto en la adecuación del hábitat, ya que limita la capacidad de las especies para alimentarse, reproducirse y dispersarse (Tierney *et al.*, 2009). En áreas extensas de bosque nativo, las restricciones a la dispersión de semillas y el establecimiento de nuevas especies se ven reducidas. Sin embargo, en poblaciones pequeñas y aisladas, prevalece la endogamia en comparación con poblaciones grandes y conectadas (Lizana, 2017). La fragmentación y la alteración son fenómenos a nivel del paisaje que no solo disminuyen el tamaño y la calidad del hábitat, sino que también incrementan el aislamiento y generan límites ecológicos que difieren significativamente del hábitat central (Gaublomme *et al.*, 2008). El tamaño, en particular, es un indicador relevante de la abundancia de especies (Ecke *et al.*, 2010).

Los principales efectos de las actividades humanas y naturales en cuanto a la alteración del paisaje son la reducción del tamaño y la calidad del hábitat boscoso, el aumento de la extensión de los bordes y del número de fragmentos, así como la pérdida de conectividad (Otavo y Cheverría, 2017).

5. Indicadores clave y sus implicaciones en la alteración del hábitat de poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*

En total, se identificaron 14 indicadores en la bibliografía que abordaron las componentes de estructura, composición, función y estructura del paisaje. Estos indicadores fueron seleccionados en función de su relación con condiciones, ya sean positivas o negativas, relacionadas con la alteración del hábitat, y su aumento o disminución tuvo implicaciones en la definición de esta alteración en las poblaciones de *N. macrocarpa*. El Cuadro 3 presenta los indicadores seleccionados junto con su estado en términos de una perspectiva negativa, es decir, si su aumento o disminución contribuye negativamente a la condición de la alteración del hábitat en las poblaciones de *N. macrocarpa*.

Cuadro 3. Estado de los indicadores clave seleccionados.

Componente	Indicador	Estado (negativo)
Estructura	Árboles muertos	Aumento
	Área Basal	Disminución
	Superficie de claros	Aumento
Composición	Abundancia de la regeneración de arboles	Disminución
	Frecuencia de especie exótica vegetal	Aumento
	Frecuencia de especie exótica animal	Aumento
	Riqueza de especies arbóreas	Aumento
Función	Crecimiento	Disminución
	Producción de hojarasca	Disminución
	Almacenamiento de agua	Disminución
Estructura del Paisaje	Relación área-perímetro del parche	Disminución
	Distancia a áreas pobladas	Aumento
	Cercanía del fragmento con otros parches de bosque	Disminución
	Tamaño de parche de bosque	Disminución

b) Indicadores clave a través de criterio de expertos locales

Las entrevistas realizadas a los ocho expertos locales y las cartografías conjuntas en cada uno de los sitios de estudio permitieron identificar con precisión la presencia de la especie en cuestión dentro de los límites de las áreas protegidas seleccionadas, así como los eventos que han afectado a las poblaciones, tal como muestra en la Figura 5.

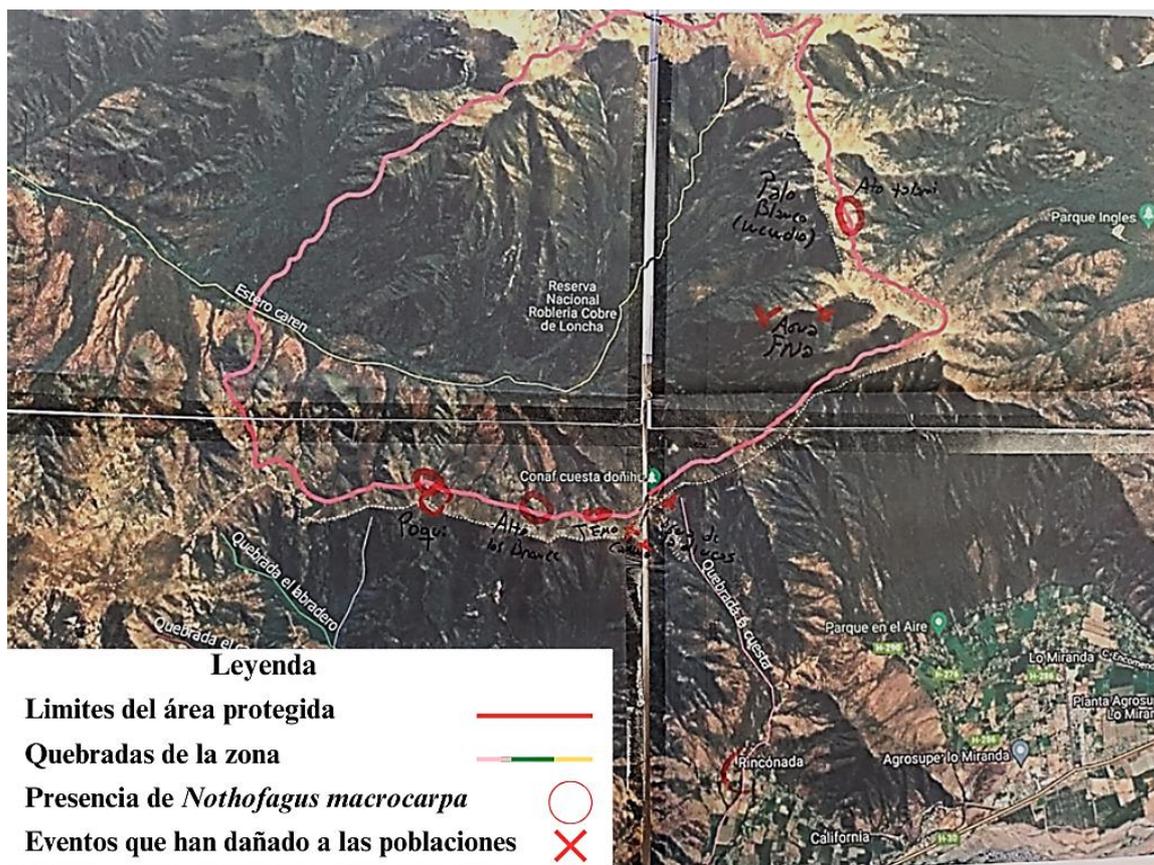


Figura 5. Cartografía conjunta realizada en Reserva Nacional Roblería de Cobre de Loncha.

El análisis de las entrevistas ayudo a categorizar la información, para cada una de las componentes, celeste para la estructura, amarillo para composición, rojo para el función y verde para la estructura del paisaje. En el Apéndice 9, se presenta cómo se analizó el contenido de las entrevistas según las definiciones de estructura, composición, función y estructura del paisaje, con referencia a uno de los entrevistados de San Juan de Piche, localidad de Alhué.

Después de procesar y consolidar la información de las ocho entrevistas, así como realizar un análisis interpretativo (Apéndice 10) utilizando la bibliografía recopilada, se identificaron un total de 12 indicadores clave para estructura, composición, función y la estructura del paisaje (Figura 6). De estos indicadores, solo dos no se encontraron en la bibliografía recopilada, que son la "presencia de hongo xilófago" y la "presencia de insectos defoliadores".

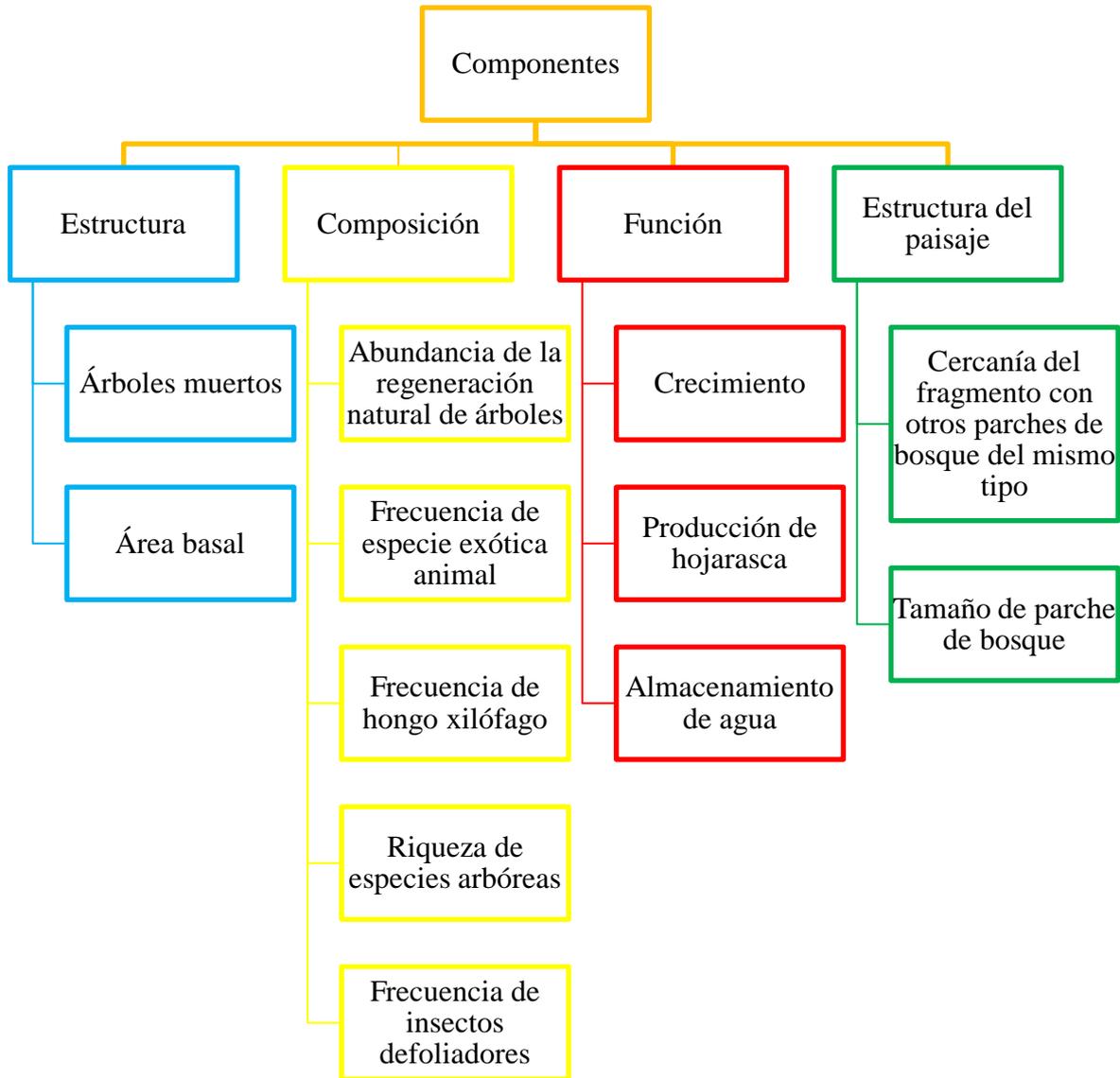


Figura 6. Indicadores clave seleccionados por expertos locales.

c) Indicadores clave a través de entrevistas a expertos técnico – científicos

El análisis interpretativo de la información recopilada de las entrevistas realizadas a los tres expertos seleccionados (Apéndice 10), se categorizó de acuerdo con los colores seleccionados. Esto contribuyó a la selección de diez indicadores clave (Figura 7). De estos indicadores, solo uno no se encontraba en la bibliografía previamente revisada, y este es el indicador de "suelo desnudo".

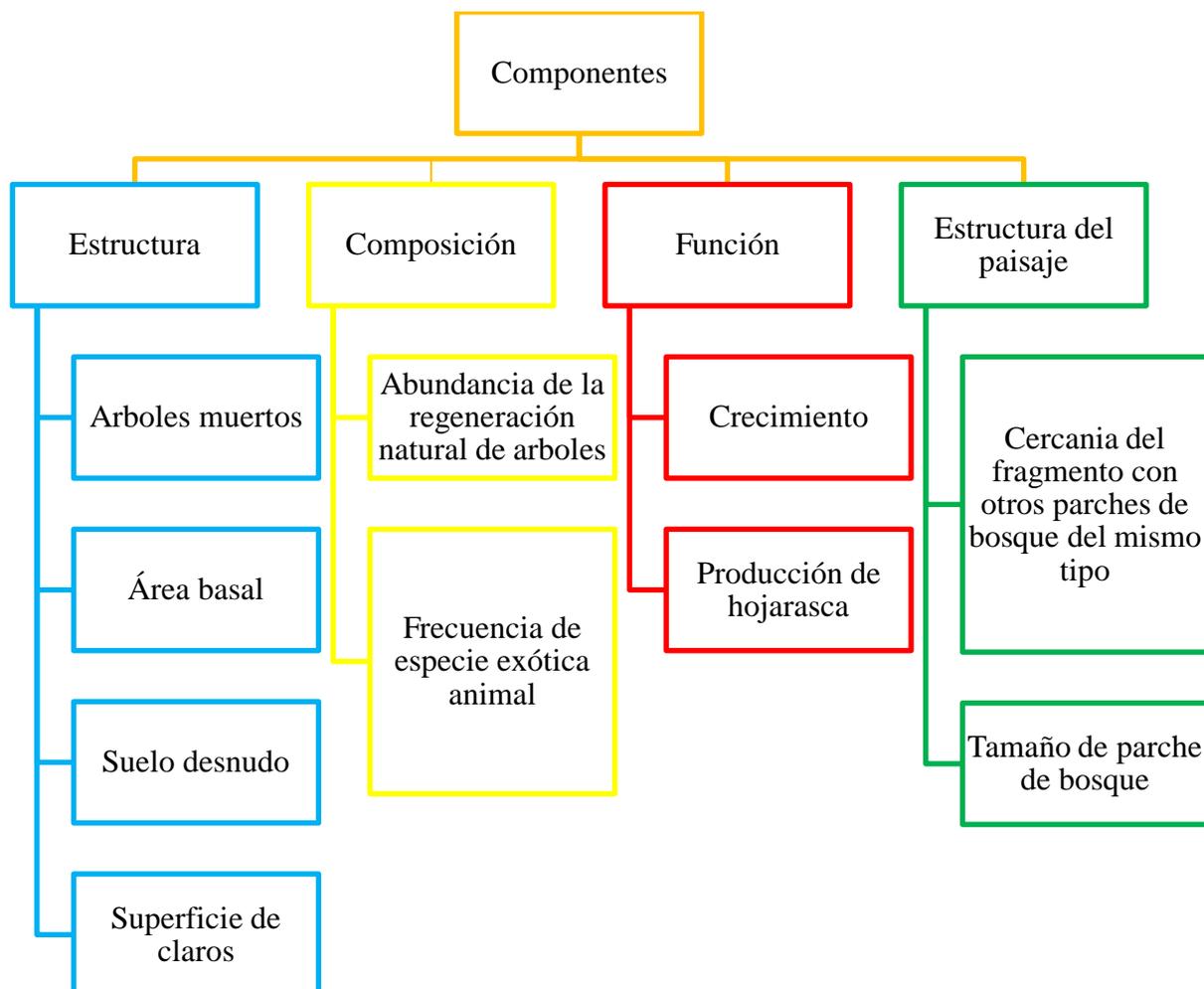


Figura 7. Indicadores clave seleccionados a través de expertos técnico – científicos.

d) Equilibrio con enfoque socio-ecológico de los indicadores

El proceso de selección de indicadores clave desde un enfoque socio-ecológico resultó en la identificación de indicadores de estructura, composición, función y estructura del paisaje. Estos se identificaron a partir de la revisión bibliográfica, las aportaciones de expertos locales y las contribuciones de expertos técnico-científicos. En total, se evaluaron diferentes indicadores en cada categoría:

- Estructura: Se consideraron tres indicadores de la revisión bibliográfica, tres indicadores de expertos locales y cuatro indicadores de expertos técnico-científicos. Finalmente, se seleccionaron tres indicadores finales (ver Cuadro 4).
- Composición: Se evaluaron cuatro indicadores de la revisión bibliográfica, cinco indicadores de expertos locales y dos indicadores de expertos técnico-científicos. La selección final incluyó la Abundancia de la regeneración natural de árboles, la presencia de especies exóticas animales y la riqueza de especies arbóreas (Cuadro 4).
- Función: Se consideraron tres indicadores de la revisión bibliográfica, tres indicadores de expertos locales y dos indicadores de expertos técnico-científicos. Se eligieron tres indicadores finales (ver Cuadro 4).

- Estructura del paisaje: Se evaluaron cuatro indicadores de la revisión bibliográfica, tres indicadores de expertos locales y dos indicadores de expertos técnico-científicos. La selección final consistió en tres indicadores clave (ver Cuadro 4) para las poblaciones de *N. macrocarpa*.

Cuadro 4. Selección de indicadores clave desde un enfoque socio – ecológico

Componente	Indicador	Bibliografía	Experto local	Experto técnico - científico	Nº de menciones
Estructura	Arboles muertos	x	x	x	3
	Área Basal	x	x	x	3
	Superficie de claros	x		x	2
	Suelo desnudo			x	1
Composición	Abundancia de la regeneración natural de arboles	x	x	x	3
	Frecuencia de especie exótica animal	x	x	x	3
	Riqueza de especies arbóreas	x	x		2
	Frecuencia de especie exótica vegetal	x			1
	Frecuencia de insectos defoliadores		x		1
	Frecuencia de hongo xilófago			x	1
	Crecimiento	x	x	x	3
Función	Producción de hojarasca		x	x	3
	Almacenamiento de agua	x	x		2
	Cercanía del fragmento con otros parches de bosque	x	x	x	3
Estructura del Paisaje	Tamaño de parche de bosque	x	x	x	3
	Distancia a áreas pobladas	x	x		2
	Relación área-perímetro del parche	x			1

Se seleccionaron un total de doce indicadores clave para definir la alteración de hábitat en poblaciones de *N. macrocarpa*. Estos indicadores se eligieron debido a que se mencionaron más de una vez por las fuentes de selección, lo que los convierte en los indicadores coincidentes y, por lo tanto, en los seleccionados para la investigación y su posterior uso en la evaluación multicriterio.

Por otro lado, hubo cuatro indicadores seleccionados que no presentaron coincidencias en las diferentes fuentes consultadas. Debido a esta falta de consenso, no se consideraron en la continuación de la investigación.

Determinación de indicadores claves de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*

Determinación de indicadores claves a través de expertos

Los resultados de la evaluación multicriterio, que involucró a 24 encuestados (ver Apéndice 12) que valoraron y priorizaron los doce indicadores seleccionados, requirieron un análisis de consistencia. Como resultado de este análisis, se consideraron 22 personas en el cálculo final de la evaluación multicriterio. Esto se debió a que dos de los participantes no cumplieron con los requisitos de consistencia en sus juicios (un valor < 0.1) para los componentes y los indicadores en su conjunto (Apéndice 14).

Después de realizar las encuestas para la evaluación multicriterio y asegurarnos de la consistencia, aplicamos el promedio geométrico a las 22 encuestas seleccionadas (ver Apéndice 13). Esto se hizo para asegurar que cada encuesta contribuyera de manera equitativa a la investigación y que la tabla final de los criterios fuera lo más consistente posible. Los valores finales del análisis de consistencia de la media geométrica, que son < 0.003 en todos los componentes e indicadores, y por lo tanto son consistentes.

Desarrollo de un índice multicriterio para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*

Priorización de los componentes e indicadores

Luego de integrar los juicios individuales de cada experto en la evaluación multicriterio (ver Apéndice 9), calculamos los valores del vector prioridad, lo que resultó en el peso relativo tanto de componentes como de los indicadores clave (Figura 8). De los pesos relativos obtenidos por componente (Figura 8a), el que obtuvo un mayor peso fue la composición (Figura 8c), seguido de la estructura (Figura 8b), la función (Figura 8d) y, por último, la estructura del paisaje (Figura 8e).

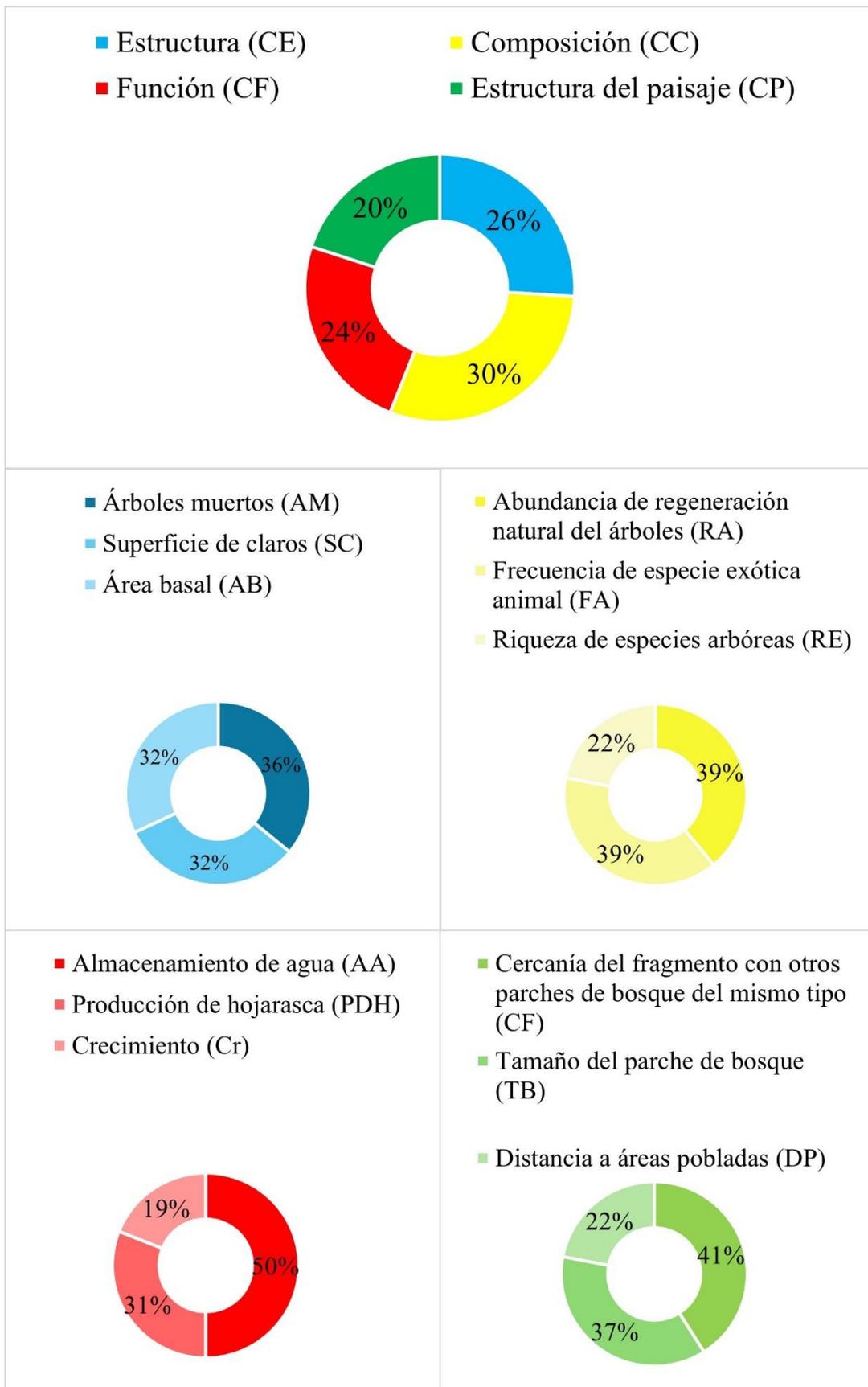


Figura 8. Pesos relativos de cada a) componente y los indicadores clave de la b) estructura, c) composición, d) función y e) estructura del paisaje.

Los resultados de la evaluación multicriterio para valorar los indicadores de estructura revelaron que el indicador con mayor peso fue el de árboles muertos (0,36), seguido por los indicadores de superficie de claros y área basal, ambos con un peso de 0,32 (ver Figura 8b).

En cuanto a los indicadores de composición, los pesos relativos indicaron que los dos indicadores más significativos (0,39) fueron la abundancia de regeneración natural de árboles y la presencia de especies exóticas animales, mientras que el indicador de riqueza de especies arbóreas obtuvo el menor peso (0,22) (ver Figura 8c).

Para el componente de función, los indicadores con mayor peso (0,50) fueron el almacenamiento de agua, seguido por la producción de hojarasca (0,31) y, en último lugar, el crecimiento (0,19) (ver Figura 8d).

En la evaluación multicriterio de los indicadores de la estructura del paisaje, el indicador con mayor peso relativo (0,41) fue la cercanía del fragmento con otros parches de bosque del mismo tipo. En segundo lugar, se ubicó el tamaño del parche de bosque (0,37), seguido por la distancia a áreas pobladas (0,22) (ver Figura 8e).

Estos pesos relativos obtenidos de la evaluación multicriterio reflejan una percepción general y un consenso sobre los elementos clave de las poblaciones de *N. macrocarpa* que son visiblemente más significativos al priorizar indicadores y componentes.

Índices multicriterio para la evaluación de la alteración de hábitat

De acuerdo con el peso relativo de cada componente e indicador se pudieron establecer los siguientes índices de Alteración de hábitat.

Los indicadores de la estructura ayudaron al desarrollo del Índice de Alteración de hábitat de la estructura (IAHE), (Ecuación 7).

$$IAHE = AM * 0.36 + SC * 0.32 + AB * 0.32 \quad (\text{Ecuación 7}).$$

Donde AM es el indicador de árboles muertos, SC superficie de claros y AB área basal, cada uno esta ponderado por el peso relativo obtenido de la evaluación multicriterio.

Índice de Alteración de hábitat de la composición (IAHC), (Ecuación 8).

$$IAHC = RA * 0.39 + FA * 0.39 + RE * 0.22 \quad (\text{Ecuación 8}).$$

Donde RA es el indicador de abundancia de la regeneración de árboles, FA es frecuencia de especie exótica animal y RE es riqueza de especies arbóreas, cada uno esta ponderado por su respectivo peso relativo de la evaluación multicriterio.

Índice de Alteración de hábitat de la función (IAHF), (Ecuación 8).

$$IAHF = Cr * 0.19 + AA * 0.50 + PDH * 0.31 \quad (\text{Ecuación 8}).$$

Donde Cr es el indicador clave de crecimiento, AA el almacenamiento de agua y PDH producción de hojarasca, cada uno esta ponderado por el peso relativo obtenido de la evaluación multicriterio.

Índice de Alteración de hábitat del paisaje (IAHP), (Ecuación 9).

$$IAHP = TP * 0.37 + DP * 0.22 + CF * 0.41 \quad (\text{Ecuación 9}).$$

Donde TP es el tamaño de parche del bosque, DP la distancia a áreas pobladas y CF la cercanía del parche con otros bosques del mismo tipo, cada uno esta ponderado por su respectivo peso relativo de la evaluación multicriterio.

Con los cuatro índices desarrollados anteriormente se obtuvo el Índice Evaluación de la Alteración de Hábitat (IEAH), (Ecuación 10).

$$IEAH = IAHE * 0.26 + IAHC * 0.30 + IAHF * 0.24 + IAHP * 0.20 \quad (\text{Ecuación 10}).$$

Donde IAHE es el Indicador de la Alteración de Hábitat de la Estructura, IAHC índice de la composición, IAHF corresponde al de la función y IAHP al de la estructura del paisaje, cada uno esta ponderado por el peso relativo obtenido de la evaluación multicriterio. Obteniendo así el índice final para evaluar las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

DISCUSIÓN

La aplicación de un enfoque socio-ecológico en esta investigación fue esencial, ya que permitió tener en cuenta las diversas perspectivas que componen los territorios donde se encuentra *Nothofagus macrocarpa*. El marco de la integridad ecológica facilitó la identificación de puntos de conexión en la información, abordando así contextos diversos vinculados a la gestión de las poblaciones de esta especie y sus indicadores clave.

Considerando el contexto previo, la selección de indicadores clave se fundamentó en el conocimiento acumulado de la bibliografía, lo que posibilitó el desarrollo de un lenguaje para interpretar la percepción de diversos expertos locales y técnicos-científicos familiarizados con la especie. Esto subraya la importancia de la participación de expertos de diversas áreas y la recopilación previa de información disponible para evaluar la integridad ecológica (Herrera y Corrales, 2004). No obstante, es relevante mencionar que estas consideraciones presentan dificultades para el caso de *Nothofagus macrocarpa* relacionadas con la cantidad de estudios, proyectos y publicaciones relacionadas con la especie, que son escasos y se limitan principalmente a los últimos 20 años.

Las entrevistas a expertos locales y técnicos-científicos resaltan que el compromiso y la participación de diversas partes interesadas pueden mejorar el proceso de selección de indicadores, respaldando la implementación a través de la ciencia ciudadana (Wurtzebach and Schultz, 2016). Este procedimiento facilita la elección exclusiva de indicadores clave. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta metodología se aplicó a una especie en territorios específicos, por lo que su aplicación a otras especies o con otros enfoques puede resultar en la identificación de diferentes indicadores.

Por otro lado, algunos indicadores mencionados por expertos y en la bibliografía no se incluyeron debido a la falta de patrones de coincidencia en la información, estos fueron el suelo desnudo en los indicadores de estructura, la frecuencia de especies exóticas vegetales, frecuencia de hongos xilófagos y frecuencia de insectos defoliadores en la composición, y la relación área-perímetro del parche en la estructura del paisaje. Sin embargo, esto no impide considerar y utilizar estos indicadores en futuras investigaciones sobre la alteración de hábitats en las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

La metodología de la integridad ecológica ha sido poco utilizada en Chile, y la mayoría de los estudios que la han aplicado se han desarrollado en el extranjero. Entre los estudios más relevantes que han adoptado el marco de la integridad ecológica, destaca el trabajo de Wurtzebach and Schultz (2016). En dicho estudio, realizaron una exhaustiva revisión de la literatura para identificar los indicadores clave de la integridad ecológica, los cuales fueron posteriormente priorizados en colaboración con administradores de parques, miembros del personal y científicos vinculados al estudio. De los nueve indicadores clave seleccionados y definidos en ese trabajo, tres coinciden con los que se encuentran en este estudio: especies exóticas, regeneración de árboles y crecimiento. Es crucial señalar una distinción importante con respecto a este estudio, que radica en la inclusión de la participación de expertos locales y organizaciones de la sociedad civil, tanto en la selección como en la determinación de los indicadores, en nuestra investigación.

Otro estudio relevante en el ámbito de la integridad ecológica es el llevado a cabo por Tierney *et al.* (2009), que se centró específicamente en bosques. De los doce indicadores

seleccionados en esta investigación, cuatro de ellos coinciden con los encontrados en el estudio de Tierney y colaboradores. Estos indicadores compartidos abarcan el tamaño de parche de bosque, la presencia de especies exóticas invasoras y el crecimiento. Cabe destacar que estos indicadores han sido ampliamente utilizados en investigaciones relacionadas con bosques templados, lo que sugiere la posibilidad de que en futuros estudios se identifiquen indicadores recurrentes para evaluar la salud y la integridad de poblaciones arbóreas.

En la investigación llevada a cabo por Jia *et al.* (2015), la selección de indicadores de integridad ecológica se basó principalmente en estudios publicados y se determinaron mediante criterios que incluían la variabilidad, el rango de distribución y un análisis de correlación. Como resultado, se identificaron 16 indicadores candidatos que eran independientes entre sí, sin superposición de información ni redundancia. Cinco de los indicadores clave seleccionados en este estudio guardan similitud con aquellos identificados por Jia *et al.* en 2015 y estos incluyen la riqueza de especies, especies exóticas invasoras, superficie de claros, número de regeneración de árboles y área basal.

En un estudio llevado a cabo por Faber-Langendoen *et al.* (2012), se describe que la selección de indicadores para un índice de integridad ecológica se basó en una revisión de la literatura disponible y en variables indicadoras previamente desarrolladas para ser utilizadas en evaluaciones rápidas. Los indicadores se clasificaron en tres niveles. El primer nivel comprende información procedente de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG). Los del nivel 2 provienen de una evaluación rápida *in situ*, utilizando medidas de campo simples. Por último, las métricas del nivel 3 se basan en métodos más rigurosos, como la recopilación de datos cuantitativos de parcelas medidas. En este estudio, se identificaron dieciséis indicadores clave, de los cuales seis de ellos se relacionan con nuestra investigación y a diferentes niveles de organización biológica, como la conectividad de hábitats naturales, tamaño absoluto del parche, regeneración leñosa, especies de plantas exóticas invasoras, riqueza de especies de plantas vasculares y recursos de agua.

Los estudios presentados anteriormente comparten similitudes con este en cuanto a la aplicación del marco de la integridad ecológica. No obstante, este estudio se destaca por su enfoque socio - ecológico que incorpora la participación de diversos actores desde el inicio, considerando en todo momento la diversidad biocultural presente en las cercanías de los bosques de *Nothofagus macrocarpa*. Además, hemos empleado una metodología complementaria, la evaluación multicriterio, que permite valorar y priorizar los diversos indicadores de una manera más integral y contextualizada.

Determinar los indicadores clave mediante la evaluación multicriterio permite valorar y jerarquizar los indicadores seleccionados, integrando las perspectivas de un número aún mayor de expertos en los territorios donde se distribuye la especie. Esto se refleja en el aumento de participantes, pasando de 11 participantes en la selección de indicadores a 24 participantes en la determinación de indicadores. Sin embargo, al llevar a cabo las encuestas y procesar la información, no todas las comparaciones resultaron consistentes, ya que dos encuestados presentaron valores de inconsistencia (> 0.1). En esta investigación, los juicios que presentaron valores de inconsistencia en el análisis fueron filtrados y eliminados para la fase posterior. Es relevante mencionar que cuando surgen inconsistencias en la información, se debería considerar volver a contactar a los

encuestados y corregir las valoraciones en posteriores reuniones, respetando la visión y opinión del encuestado, hasta que el análisis de consistencia sea $<$ de 0.1.

La valoración y el peso relativo de las componentes en su conjunto oscilan entre el 20% y el 30% en sus valores de prioridad. El componente más importante en este sentido es la composición, con un peso relativo del 30%. Los indicadores seleccionados en este componente están relacionados con aspectos de alteración que la gente percibe con mayor visibilidad, incluyendo la regeneración natural del bosque, la presencia de animales exóticos que son un factor de estrés (Tierney *et al.*, 2009) y la riqueza de diferentes especies que componen el actual bosque, que debiera estar dominado por *Nothofagus macrocarpa*.

La estructura y la función presentaron valores intermedios de un 26% y un 24%, respectivamente, y el paisaje tuvo el valor más bajo, un 20%. La distribución de pesos obtenidos puede estar relacionada con el hecho de que los tres primeros componentes mencionados son los más conocidos y de carácter más local. Sin embargo, el paisaje permite comprender los impactos y factores de estrés a nivel más regional (Tierney *et al.*, 2009) y a una escala mucho mayor.

Es importante destacar que los pesos relativos de cada uno de los indicadores de los componentes están en un rango similar; sin embargo, algunos de ellos destacan considerablemente en relación con los otros. En los indicadores clave de estructura y composición, cada uno de los pesos relativos de los indicadores osciló entre el 20% y el 40%, mostrando cierto grado de distribución en la valoración por parte de los expertos.

Por otro lado, los componentes de función y estructura del paisaje revelan que ciertos indicadores clave son más críticos que otros. El indicador con el mayor peso en el componente de función y entre todos los indicadores es el almacenamiento de agua, con un valor de prioridad del 50%. Este es uno de los valores más altos obtenidos en la evaluación multicriterio y puede explicarse en parte debido a que los encuestados consideraron este indicador como uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, y su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés (Moreno, 2009). Además, este indicador se ve influenciado por los fenómenos de la megasequía, extensa, prolongada y cálida, que ha tenido impactos perjudiciales en Chile central, afectando tanto a los medios de vida humanos como a los ecosistemas naturales (CR2, 2015).

En el componente de la estructura del paisaje, otro de los indicadores críticos que recibió una alta valoración es la cercanía entre los fragmentos de bosque del mismo tipo, con un 41% de valoración. La alta valoración indica la necesidad de una mayor conectividad entre los bosques de *Nothofagus macrocarpa* existentes, ya que esto facilita aspectos como la dispersión de semillas y la promoción de la regeneración (Lizana, 2017).

En cuanto a la evaluación multicriterio, en Chile se han llevado a cabo diversos estudios que han utilizado esta metodología. No obstante, la mayoría de ellos se centran en temas relacionados con la evaluación económica, industrial o políticas públicas, mientras que las aplicaciones ambientales han sido menos comunes. Por ejemplo, en un estudio realizado por Lizana (2017), se propuso la identificación de zonas prioritarias para la recuperación de bosques nativos degradados, empleando índices espaciales a través de la evaluación multicriterio que involucró la participación de diversos expertos. En otro

estudio llevado a cabo por Macrommati *et al.* (2017), se utilizó la misma metodología para evaluar el valor de los servicios ecosistémicos para las generaciones futuras, realizando un análisis de decisiones multicriterio junto con un proceso de deliberación que permitió la interacción entre ciudadanos y científicos para evaluar los servicios ecosistémicos en un contexto social. Además, en un estudio realizado por Esse *et al.* en 2014, se aplicó una evaluación multicriterio, concluyendo que su uso proporciona facilidad y flexibilidad en la obtención de los datos necesarios.

Estos estudios comparten similitudes con la presente investigación, ya que, a través de deliberaciones en la mayoría de los grupos, se alcanzó cierto nivel de consenso, al igual que en el presente estudio, donde se consideró una diversidad de actores asociados a las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*. Sin embargo, lo que distingue a esta investigación es su enfoque en aspectos que adoptan una perspectiva socio - ecológica. Además, gracias al concepto de integridad ecológica, se resuelve desde el inicio la dificultad de estandarizar la evaluación.

Finalmente, es importante mencionar que los indicadores clave varían en su facilidad de medición. Los indicadores de la estructura del paisaje son los más fáciles de medir, ya que se pueden obtener de forma remota a través de sistemas de información geográfica. En contraste, los indicadores de estructura, composición y función requieren trabajo en campo, y dentro de estos, los más fáciles de medir son los que se pueden obtener a través de parcelas.

Los indicadores que presentan un mayor nivel de dificultad son principalmente la producción de hojarasca y el almacenamiento de agua, ya que requieren instrumentos especializados y mediciones en diferentes momentos del año. Es importante destacar que el índice generado en esta investigación se caracteriza por su versatilidad de uso. Puede ser utilizado en conjunto o como índices separados, lo que le otorga un carácter de múltiple propósito. Aunque la recomendación principal es utilizar los indicadores en su conjunto para evaluar la alteración del hábitat, también es posible utilizar índices parciales derivados de esta investigación.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un índice multicriterio con un enfoque socio-ecológico para evaluar el estado de alteración del hábitat en las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*, tuvo resultados que permitieron integrar diversas perspectivas de múltiples territorios que tienen en común la presencia de la especie.

Los indicadores clave resultantes en esta investigación se seleccionaron y nutrieron al considerar el acervo de conocimiento acumulado sobre la especie hasta el momento, proveniente desde la bibliografía disponible asociada a *Nothofagus macrocarpa*, el género *Nothofagus* y el estado de poblaciones arbóreas. Al considerar tanto las perspectivas de expertos técnico – científicos, que han contribuido al estado del arte de la especie, como de expertos locales que conviven diariamente con ella y tienen un alto sentido de pertenencia. Le da a esta investigación un carácter más participativo e integrador para la gestión y manejo de las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*.

En esta investigación, los indicadores obtenidos desde estas múltiples perspectivas dieron una base sólida para determinar y valorar el conocimiento proveniente de la diversidad biocultural asociada a la especie. Los aspectos de la estructura, composición, función y la estructura del paisaje oscilaron en términos de prioridad muy similares (entre el 20% y 30%). De los doce indicadores valorados, el almacenamiento de agua, la cercanía del parche de bosque con otros parches del mismo tipo, la abundancia de regeneración de árboles, la frecuencia de especies exóticas animales y los árboles muertos fueron los indicadores con mayor peso.

La aplicación de la evaluación multicriterio permite la asignación de pesos relativos de los índices generados para cada una de las componentes de estructura, composición, función y estructura del paisaje, que en su conjunto ayudan a definir la alteración de hábitat de las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*. Surge así una percepción general sobre los aspectos más relevantes que deben ser estudiados en las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa* e informados a la ciudadanía.

LITERATURA CITADA

Aguilera, F. 2010. Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía* 30(2): 9-29.

Alcaras, C. 2010. Caracterización de una población de *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) Vasq. & Rodr., en sector Granizo del Parque Nacional La Campana. 55 p. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Santiago, Chile.

Alfaro, M. 2018. Calidad de suelo en bosques de *Nothofagus obliqua* con diferentes niveles de cobertura en el centro sur de Chile, y el potencial uso de sistemas silvopastoriles. 102 p. Doctor. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Concepción, Chile.

Álvarez, A. y M. McCall. 2019. La cartografía participativa como propuesta teórico-metodológica para una arqueología del paisaje latinoamericana. Un ejemplo desde los Valles Calchaquies (Argentina). *Revista de Antropología y Arqueología* 36: 85-112.

Alvis, J. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 7(1):115-122.

Aravena, C. 2018. Efecto del tamaño de los claros de dosel sobre variables microclimáticas en un bosque de *Nothofagus antarctica* (G.Forst.)Oerst. En la región de Aysén. 54 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Arriagada, V. 2014. “Comparación de algunos índices de paisaje obtenidos de cartografía elaborada en forma digital y analógica, sobre una imagen del satélite FORMOSAT-2, para el área de la carta IGM La Unión”. 37 p. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Chile.

Bahamonde, H., P. Peri, L. Monelos, y G. Martínez. 2013. Regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* bajo uso silvopastoril en Patagonia Sur, Argentina. *BOSQUE* 34(1):89-101.

Bennetts, R., Gross, j. and K. Cahill. 2007. Linking monitoring to management and planning: assessment points as a generalized approach. *The GeorgeWright Forum* 24:59-77.

Canales, C. 2020. Influencia de la variabilidad climática del último siglo sobre los patrones de crecimiento radial y mortalidad de un bosque de *Nothofagus* del Parque Nacional Rada Siete Tazas. 54 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Castro-Pastene, C., H. Carrasco, A. Villa, y N. Palma-Aedo. 2019. Animales domésticos ferales y meso-mamíferos invasores del Parque Nacional Radal Siete Tazas. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 68(1-2):121-130.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). 2015. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Santiago, Chile: CR2. 28p.

Cerón, V., G. Fernández, A. Figueroa, y I. Restrepo. 2019. El enfoque de sistemas socio ecológicos en las ciencias ambientales. *Investigación & Desarrollo* 27(2):85-109.

Charrier, A., C. Correa, C. Castro, and M. Méndez. 2015. A new species of *Alsodes* (Anura: Alsodidae) from Altos de Cantillana, central Chile. *Zootaxa* 3915(4): 540-550:140-145.

Chorbadjian, R. and A. Francino. 2013. Phenological variation in leaf chemistry of *Nothofagus macrocarpa* in relation to *Ormiscodes* sp. growth and survival. *BOSQUE* 34(2): 155-160.

Consejo de Monumentos Nacionales (CMN). 2010. Santuarios de la naturaleza de Chile. Chile. Disponible en https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/articulos-11151_doc_pdf.pdf (Consultado en mayo 2023).

Corporación Chilena de la Madera (CORMA). 2015. El agua y las plantaciones forestales. Disponible en <https://www.corma.cl/wp-content/uploads/2020/01/El-agua-y-las-plantaciones-forestales.pdf> (Consultado en octubre 2023).

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2008. Plan de Manejo PARQUE NACIONAL RADAL SIETE TAZAS. Chile. Disponible en https://www.bienesnacionales.cl/wp-content/uploads/2017/10/LIC_RADAL_ANEXO_11.pdf (Consultado en mayo 2023).

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2013. Resúmenes proyectos financiados por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo periodo 2010-2011, Chile. Disponible en <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/20.500.12978/25119?show=full> (Consultado en abril de 2023).

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2019. Cambio climático: los bosques, clave en la captura de carbono. Santiago, Chile. Disponible en <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/chifo/CHIFO390.pdf> (Consultado en mayo de 2022)

Delgado, T. 2008. Crecimiento de un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa*, en el Cerro el Roble, Región Metropolitana. 46 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

Doll, U., P. Araya, L. Soto-Cerda, D. Aedo, y G. Vizcarra. 2018. Producción y composición de la hojarasca en un renoval pre andino de *Nothofagus glauca* de la región del Maule. *BOSQUE* 39(1):151-156.

Donoso, L. 2007. Propuesta de intervención silvícola con fines de conservación para la formación boscosa de *Nothofagus macrocarpa* (Caleu, Prov. Chacabuco). 117 p.

Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

Donoso, S., C. Delgado, M. Paratori, K. Peña, and A. Riquelme. 2010. Above-ground Biomass accumulation and growth in a marginal *Nothofagus macrocarpa* forest in central Chile. *Interciencia* 35:1-5.

Ecke, F., P. Christensen, R. Rentz, M. Nilsson, P. Sandstrom, and B. Hornfeldt. 2009. Landscape structure and the long-term decline of cyclic grey-sided voles in Fennoscandia. *Landscape Ecol.* 25:551-560.

Esse, C., P. Valdivia, F. Encina-Montoya, C. Aguayo, M. Guerrero, y D. Figueroa. 2014. Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *BOSQUE* 35(3): 289-299.

Eyzaguirre, M. 2014. Novedades florísticas en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha: *Calceolaria philippii* sp. nov. (Calceolariaceae) para la flora de Chile y ampliación de la distribución de *Anemone rigida* Gay (Ranunculaceae). *Gayana Botánica* 71(1):280-283.

Faber-Langendoen, D., C. Hedge, M. Kost, S. Thomas, L. Smart, R. Smyth, J. Drake, and S. Menard. 2012. Assessment of wetland ecosystem condition across landscape regions: A multi-metric approach. Part A. Ecological Integrity Assessment overview and field study in Michigan and Indiana. Disponible en https://www.natureserve.org/sites/default/files/natureserve_eia_wetlands_epa_part_a_main_report_2012.pdf (Consultado en noviembre 2023).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2018. El estado de los bosques del mundo: las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma, Italia. Disponible en <https://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf> (Consultado en junio 2022).

Frene, C., J. Armesto, P. Donoso, C. Oyarzun y C. Donoso. 2014. Impactos del Manejo Silvícola de Renovales de *Nothofagus* sobre la Disponibilidad de Agua y el Transporte de Sedimentos a escala de Microcuenca, en el Sur de Chile. Disponible en https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/11/038_2010-DOCUMENTOS_INFORME-FINAL.pdf (Consultado en octubre 2023).

García, N. 2010. Caracterización de la flora vascular de Altos de Chicauma, Chile (33° S). *Gayana Botánica* 67(1):65-112.

García, N. y C. Ormazabal. 2008. Árboles Nativos de Chile. Enersis S.A. Santiago, Chile.

Gaublomme, E., F. Hendrickx, H. Dhuyvetter, and K. Desender. 2008. The effects of forest patch size and matrix type on changes in carabid beetle assemblages in an urbanized landscape. *Biological Conservation* 141(10):2585-2596.

Gavin, M., J. McCarter, A. Mead, F. Berkes, J. Stepp, D. Peterson, and R. Tang. 2015. Defining biocultural approaches to conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 30:140-145.

Gil, N. y J. Gómez. 2019. La cartografía participativa como herramienta para la acción política, dos estudios de caso en espacios rurales y urbanos en Colombia. *Cardinalis* 7:1-12.

Gorostiaga, N., L. Zamboni, A. Cerezo, y R. Pavé. 2021. Influencia de los atributos del paisaje en la ocupación de parches de bosque y en la demografía de *Alouatta caraya* en un ambiente fragmentado del noreste de Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 92:1-11.

Granados-Sánchez, D., G. López-Ríos, y F. Hernandez-Garcia. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Chapingo* 13(1):67-83.

Graves, J., R. Peet, and P. White. 2006. The influence of carbon - nutrient balance on herb and woody plant abundance in temperate forest understories. *Journal of Vegetation Science* 17:217-226.

Gustafson, E., and G. Parker. 1994. Using an index of habitat patch proximity. *Landscape and Urban Planning* 29:117-130.

Gutiérrez, A., R. Chávez, and I. Díaz-Hormazábal. 2021. Canopy Gap Structure as an Indicator of Intact, Old-Growth Temperate Rainforests in the Valdivian Ecoregion. *Forest Ecology and Management* 12(9):1-15.

Hernández, L., J. Jiménez, M. Sánchez, V. Meza, A. Morera, y M. Gutiérrez. 2013. Dinámica y composición del bosque seco tropical de Guanacaste a partir de parcelas permanentes de muestreo (PPM). *Python* 78(2):121-128. Disponible en <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/7462> (Consultado en abril de 2023).

Herrera, B. y L. Corrales. 2004. Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: evaluación y monitoreo de la integridad ecológica. PROARCA/APM, Guatemala de la Asunción, Guatemala. 44 pp. https://especies-exoticas.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3.-Libro_control_EEI_areas_protegidas_enero_2018.pdf (Consultado en abril de 2023).

Huerta, E., C. Kampichler, S. Ochoa-Gaona, B. De Jong, S. Hernandez-Daumas and V. Geissen. 2014. A Multi-Criteria Index for Ecological Evaluation of Tropical Agriculture in Southeastern Mexico. *PLOS ONE* 9(11):1-16.

Inostroza, J. 2021. Propuestas de Restauración Ecológica en fragmentos de bosque nativo de preservación asociado al hábitat de *Citronella mucronata*. 111 p. Memoria de Título. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Chile.

Instituto Forestal (INFOR). 2011. El cambio climático, los bosques y la silvicultura. Santiago, Chile. Disponible en <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/18789/26505.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado en mayo 2022).

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Alemania. Disponible en

https://ipbes.net/sites/default/files/inline/files/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf (Consultado en junio 2022).

Jia, H., P. Luo, H. Yang, C. Luo, H. Li, Y. Cheng, and Y. Huang. 2015. Constructing an indices system for evaluating the ecological integrity of forests in western Sichuan, China based on structural equation modeling. *Ecological Indicators*, 146: 1-12.

Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca. 2014. Pequeño Atlas Ilustrado del Río Tinguiririca. Chile. Disponible en <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Pequeño-Atlas-Ilustrado-del-Río-Tinguiririca.pdf>(Consultado en mayo 2023).

Karr, J., Larson, E. and E. Chu. 2021. Ecological integrity is both real and valuable. *Conservation Science and Practice* 1:1-10.

Kurt, D., J. Karr, and P. Yant. 1984. Regional Application of an Index of Biotic Integrity Based on Stream Fish Communities. *Transactions of the American Fisheries Society* 113:39-55.

Landini, F. 2010. La dinámica de los saberes locales y el proceso de localización del saber científico. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 65: 21-43.

Leichter, A., S. Muller, and F. Gertum. 2015. Forest expansion or fragmentation? Discriminating forest fragments from natural forest patches through patch structure and spatial context metrics. *Austral Ecology* 40:21-31.

Litton, C., y R. Santelices. 1996. Comparación de las comunidades vegetales en bosques de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser en la Séptima Región de Chile. *BOSQUE* 17(2):77-86.

Lizana, C. 2017. Propuesta de zonas prioritarias para la recuperación de bosque nativo degradado en la Región de los Ríos, Chile. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Chile.

Lizana, C. y A. Gutiérrez. 2019. Sitios prioritarios para la recuperación de bosque nativo intervenido en la Región de Los Ríos, Chile. *Investigaciones Geográficas* 57: 4-17.

Luebert, F., and P. Pliscoff. 2017. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2ª. Ed. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.

Macrommati, G., M. Borsuk, and R. Howarth. 2017. A novel deliberative multicriteria evaluation approach to ecosystem service valuation, *Ecology and Society* 22(2):1-23.

Malfetoni, I., J. Delconte, P. Alves, L. Vieira, R. Bueno, and E. Vitor do Couto. 2018. Spatial dimension landscape metrics of Atlantic Forest remnants in Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum* 40(1):1-8.

Martínez, V. 2016. Caracterización de la cubierta vegetal e identificación de sectores susceptibles a degradación en la Reserva Nacional Altos de Lircay, comuna de San Clemente, región del Maule. 168 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Chile.

Mathiasen, P., A. Venegas- González, P. Fresia, and A. Premoli. 2020. A relic of the past: current genetic patterns of the palaeoendemic tree *Nothofagus macrocarpa* were shaped by climatic oscillations in central Chile. *Annals of Botany* 126:891–904.

Matteucci, S. D. (2004). Los índices del mosaico como herramienta para el estudio de las relaciones patrón –proces. Argentina. Disponible en <http://server.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/moduloII/Modulo%20%20texto%20indic es2008b.pdf> (Consultado en mayo de 2023).

McGarigal, K. 2013. Landscape Pattern Metrics. *Encyclopedia of Environmetrics* 1:13

Meneses, J. 2016. El cuestionario, Barcelona, España. Disponible en <https://femrecerca.cat/meneses/publication/cuestionario/cuestionario.pdf> , (Consultado en julio de 2022).

Merlin, F. 2022. Ecocultural or Biocultural? Towards Appropriate Terminologies in Biocultural Diversity. *Biology* 11(2):207.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2014. QUINTO INFORME NACIONAL DE BIODIVERSIDAD DE CHILE, Santiago, Chile. Disponible en https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/Libro_Convenio_sobre_diversidad_Biologica.pdf (Consultado en julio de 2022).

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2020. Propuesta de Clasificación Definitiva 16° Proceso de Clasificación de Especies Silvestres. Chile. Disponible en <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/procesos-de-clasificacion/16o-proceso-de-clasificacion-de-especies-2019/propuesta-de-clasificacion-final-16o-proceso-de-clasificacion-de-especies-silvestres/> (Consultado en noviembre de 2021)

Ministerio del Medio Ambiente (MMA), CLimate Technology Centre and Network (CTCN), Centro Agronomico Tropical de Investigación y Educación (CATIE) y Centro de Agroforestería Mundial (ICRAF). 2016. Santiago-Chile. Disponible en https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/red_monitoreo_chile_altar_39mb_1.pdf (Consultado en octubre de 2023).

Moreira-Arce, D., P. Vergara, A. Fierro, E. Pincheira, S. Crespin, A. Alaniz, and M. Carvajal. 2021. Standing dead trees as indicators of vertebrate diversity: Bringing continuity to the ecological role of senescent trees in austral temperate forests. *Ecological Indicators* 129:1-7.

Moreno, P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 27(2):179-191.

Muñoz, F., C. Muñoz, M. Uribe, M. Martín, J. Molina, M. Herrera, J. Álvarez, and L. Marín. 2013. Composición, estructura y diversidad de poblaciones de *Nothofagus glauca* ubicadas en la zona mediterránea de Chile. *Gayana Bot.* 70(1):82-91.

Navarro, G., N. De la Barra, D. Rumiz, and W. Ferreira. 2008. Indicadores para evaluar el estado actual de la conservación y degradación de los bosques de Bolivia. *Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb.* 22:01-18.

Noss, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation biology* 4(4): 355-364.

Otavo, S., y C. Echeverría. 2017. Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(4):924-935.

Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol* 35(1):227-232.

Oyarzún, A., P. Donoso, y A. Gutiérrez. 2019. Patrones de distribución de alturas de bosques antiguos siempreverde del centro-sur de Chile. *BOSQUE*, 40(3), 355–364

Paratori, M. 2009. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea en un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) F. M Vasquez & R.A. Rodr. En el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, Región Metropolitana. 43 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Paratori, M. 2022. Supervivencia de cavidades de árboles: un proceso crítico para la biodiversidad del bosque templado andino del sur de Chile. 54 p. Tesis Magister. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Pérez-Quezada, J. y P. Rodrigo. 2018. Metodologías Aplicadas para la Conservación de la Biodiversidad en Chile. Santiago, Chile.

Pincheira-Ulbrich, J., J. Rau, y F. Peña-Cortés. 2009. Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Python* 78(2):121-128.

Ponce, D., P. Donoso, y C. Salas-Eljatib. 2019. Índice de bosque adulto: Una herramienta para evaluar estados de desarrollo de bosques nativos de tierras bajas del centro-sur de Chile. *BOSQUE* 40(2):235-240.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2017. Experiencias de control de especies exóticas invasoras en Áreas Silvestres Protegidas del Estado: 11 casos emblemáticos. Disponible en https://especies-exoticas.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3.-Libro_control_EEI_areas_protegidas_enero_2018.pdf (Consultado en abril de 2023).

Puettman, K., D. Coates, and C. Messier. 2009. A Critique of Silviculture: Managing For Complexity. *University of Chicago* 28:107-147.

Rathe, L. 2017. La sustentabilidad en los sistemas socio-ecológicos. *Utopía y Praxis Latinoamericana* 22:65-78.

Rebolledo, G., y J. Rau. 2010. Análisis de la estructura y organización de un paisaje forestal en el sur de Chile. *Gestión Ambiental* 19:47-66.

- Rempel, R., B. Naylor, P. Elkie, J. Baker, J. Churcher, and M. Gluck. 2016. An indicator system to assess ecological integrity of managed forests. *Ecological Indicators* 60:860-869.
- Rivas, Y., R. Godoy, E. Valenzuela, J. Leiva, C. Oyarzun, y M. Alvear. 2007. Actividad biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Bot.* 64(1):81-92.
- Rodríguez, J. 2001. La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia* 26(10):1-5.
- Rodríguez-Catón, M., R. Villaalba, A. Srur, and A. Park-Williams. 2019. Radial Growth Patterns Associated with Tree Mortality in *Nothofagus pumilio* Forest. *FORESTS* 13(6):1-18.
- Rojas, G., A. Rotstein y M. Grinzspun. 2010. La construcción de indicadores complejos sobre la posesión de bienes de consumo: una mirada metodológica. Departamento de Sociología, La Plata.
- Saaty, T. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences* 1(1):83-98.
- Sagar, R., A. Raghubanshi, and J. Singh. 2003. Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management* 186:61-71.
- Salas, C., V. LeMay, P. Nuñez, P. Pacheco, and A. Espinosa. 2006. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. *Forest Ecology and Management* 231:38-46.
- Salas, V. 2011. Modelo de priorización de proyectos de inversión pública con enfoque multicriterio. *Perspectivas* 28:63-90.
- Saldías, M. 2017. Programa de investigación en restauración de bosque maulino. Caso de estudio predio Pantanillos, región del Maule. 132 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.
- Sánchez, R., M. Briones, A. Gamboa, R. Monsalve, D. Berroeta y L. Valenzuela. 2022. Delimitación de áreas quemadas en Chile a partir de umbrales dNBR ajustados según región y cubiertas del suelo. *Revista de Teledetección* 61:43-58.
- Segovia, R., L. Hinojosa, M. Pérez, and B. Hawkins. 2013. Biogeographic anomalies in the species richness of Chilean forests: Incorporating evolution into a climatic – historic scenario. *Austral Ecology* 38:905-914.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2015. Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA. Disponible en https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/02/08/guia_ecosistemas_terrestres.pdf (Consultado en abril de 2023).
- Silva, P., H. Silva, M. Garrido, y E. Acevedo. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Universidad

de Chile, Departamento de Producción Agrícola. Disponible en <https://doi.org/10.34720/rw22-zw51> (Consultado en diciembre de 2023).

Subsecretaría de Turismo (SUBTURISMO). 2019. Ficha de Plan de Acción Declaración Zona de Interés Turístico (ZOIT) “Olmué”. Olmué, Chile. Disponible en <http://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2022/07/Plan-de-Acción-ZOIT-Olmué.pdf> (Consultado en mayo 2023).

Smith, T. y R. Smith. 2007. Ecología. Sexta Edición, Pearson Educación, S.A., Madrid, España. 682 p.

Swihart, R., J. Lusk, J. Duchamp, C. Rizkalla, and J. Moore. 2006. The roles of landscape context, niche breadth, and range boundaries in predicting species responses to habitat alteration. *Diversity and Distributions* 12:277-287.

Tierney, G., D. Faber-Langendoen, B. Mitchell, W. Shriver, and J. Gibbs. 2009. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(6):308-316.

Ugarte, M. 2014. Caracterización del crecimiento en renovales de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb). Oerst) en la comuna de Curacautín, región de la Araucanía. 41 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Uribe, D., D. Geneletti, R. Del Castillo, and F. Orsi. 2014. Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities. *Sustainability* 6:935-951.

Venegas-González, A., F. Roig, A. Gutiérrez, K. Peña-Rojas, y M. Tomazello. 2018a. Efecto de la variabilidad climática sobre los patrones de crecimiento y establecimiento de *Nothofagus macrocarpa* en Chile central. *BOSQUE* 39(1):81-93.

Venegas-González, A., F. Roig, K. Peña-Rojas, M. Hadad, I. Aguilera-Betti, and A. Muñoz. 2018b. Recent Consequences of Climate Change Have Affected Tree Growth in Distinct *Nothofagus Macrocarpa* (DC.) FM Vaz & Rodr Age Classes in Central Chile. *FORESTS* 10:1-17.

Venegas-González, A., F. Roig, A. Gutiérrez, and M. Tomazello, M. 2018c. Recent radial growth decline in response to increased drought conditions in the northernmost *Nothofagus* populations from South America. *Forest Ecology and Management* 409:94-104.

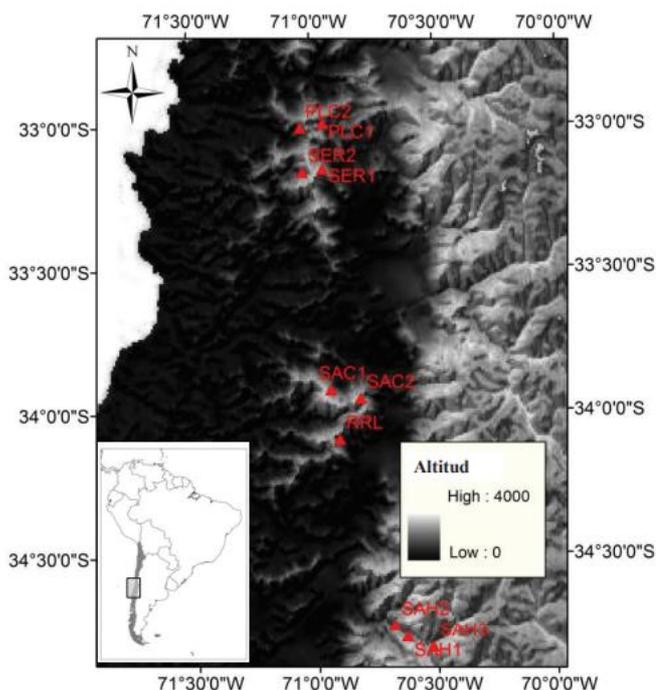
Vergara, G., y J. Ibarra. 2019. Paisajes en transición: gradientes urbano-rurales y antropización del bosque templado andino del sur de Chile. *Revista de geografía Norte Grande* 73:93-111.

Wurtzebach, Z. and C. Schultz. 2016. Measuring Ecological Integrity: History, Practical Applications, and Research Opportunities. *BioScience* 66(6): 446-457.

Zamora, M., N. Garcia, O. Pérez-Maqueo, G. Benítez, M. Kolb, M. Schmidt, J. Equihua, P. Maeda, y J. Álvarez. 2014. Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental. 33:687-710.

ANEXOS

Anexo 1. Poblaciones de *Nothofagus macrocarpa* desde Parque Nacional La Campana a Santuario de la Naturaleza Alto Huemul.



Fuente: Venegas *et al.* 2018a.

Anexo 2. Escala de valoración de Saaty (2008).

Escala	Descripción de la escala
1	El indicador “x” es igualmente importante que el indicador “y”
3	El indicador “x” es levemente más importante que el indicador “y”
5	El indicador “x” es notablemente más importante que el indicador “y”
7	El indicador “x” es fuertemente más importante que el indicador “y”
9	El indicador “x” es extremadamente más importante que el indicador “y”
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores anteriores, cuando es necesario ajustar

Anexo 3. Fuentes de información para la selección de indicadores clave.

Aguilera, F. 2010. Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía* 30(2): 9-29.

Aizen, M., D. Vázquez, and C. Smith-Ramírez. 2002. Historia natural y conservación de los mutualismos planta-animal del bosque templado de Sudamérica austral. *Revista Chilena de Historia Natural* 75(1):79-97.

Alcaras, C. 2010. Caracterización de una población de *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) Vasq. & Rodr., en sector Granizo del Parque Nacional La Campana. 55 p. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Santiago, Chile.

Alfaro, M. 2018. Calidad de suelo en bosques de *Nothofagus obliqua* con diferentes niveles de cobertura en el centro sur de Chile, y el potencial uso de sistemas silvopastoriles. 102 p. Doctor. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Concepción, Chile.

Alvis, J. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 7(1):115-122.

Aravena, C. 2018. Efecto del tamaño de los claros de dosel sobre variables microclimáticas en un bosque de *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. En la región de Aysén. 54 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Arriagada, V. 2014. “Comparación de algunos índices de paisaje obtenidos de cartografía elaborada en forma digital y analógica, sobre una imagen del satélite FORMOSAT-2, para el área de la carta IGM La Unión”. 37 p. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Chile.

Bahamonde, H., P. Peri, L. Monelos, y G. Martínez. 2013. Regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* bajo uso silvopastoril en Patagonia Sur, Argentina. *BOSQUE* 34(1):89-101.

Canales, C. 2020. Influencia de la variabilidad climática del último siglo sobre los patrones de crecimiento radial y mortalidad de un bosque de *Nothofagus* del Parque Nacional Rada Siete Tazas. 54 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Castro-Pastene, C., H. Carrasco, A. Villa, y N. Palma-Aedo. 2019. Animales domésticos ferales y meso-mamíferos invasores del Parque Nacional Radal Siete Tazas. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 68(1-2):121-130.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2013. Resúmenes proyectos financiados por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo periodo 2010-2011, Chile. Disponible en <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/20.500.12978/25119?show=full> (Consultado en abril de 2023).

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2018. Evaluación de la sustentabilidad de intervenciones silvícolas tradicionales en el tipo forestal Roble-Hualo. Disponible en https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/12/028_2011-DOCUMENTOS_INFORME-FINAL.pdf (Consultado en abril de 2023).

Corvalán, P., y J. Hernández. 2019. Impacto de la mega sequía en el crecimiento radial de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. (Roble), Chile. CFORES 14(2):184-196.

Delgado, T. 2008. Crecimiento de un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa*, en el Cerro el Roble, Región Metropolitana. 46 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

Delgado, L., y R. Pedraza. 2002. La madera muerta de los ecosistemas forestales. Foresta Veracruzana 4:59-66.

Doll, U., P. Araya, L. Soto-Cerda, D. Aedo, y G. Vizcarra. 2018. Producción y composición de la hojarasca en un renoval pre andino de *Nothofagus glauca* de la región del Maule. BOSQUE 39(1):151-156.

Donoso, L. 2007. Propuesta de intervención silvícola con fines de conservación para la formación boscosa de *Nothofagus macrocarpa* (Caleu, Prov. Chacabuco). 117 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

Donoso, S., C. Delgado, M. Paratori, K. Peña, and A. Riquelme. 2010. Above-ground Biomass accumulation and growth in a marginal *Nothofagus macrocarpa* forest in central Chile. Interciencia 35:1-5.

Ecke, F., P. Christensen, R. Rentz, M. Nilsson, P. Sandstrom, and B. Hornfeldt. 2009. Landscape structure and the long-term decline of cyclic grey-sided voles in Fennoscandia. Landscape Ecol. 25:551-560.

Frene, C., J. Armesto, P. Donoso, C. Oyarzun y C. Donoso. 2014. Impactos del Manejo Silvícola de Renovales de *Nothofagus* sobre la Disponibilidad de Agua y el Transporte de Sedimentos a escala de Microcuenca, en el Sur de Chile. Disponible en https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/11/038_2010-DOCUMENTOS_INFORME-FINAL.pdf (Consultado en octubre 2023).

García, C. 2011. Caracterización espacial de los remanentes del Bosque Caducifolio del Sur. 44 p. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Chile.

Gaublomme, E., F. Hendrickx, H. Dhuyvetter, and K. Desender. 2008. The effects of forest patch size and matrix type on changes in carabid beetle assemblages in an urbanized landscape. Biological Conservation 141(10):2585-2596.

Gorostiaga, N., L. Zamboni, A. Cerezo, y R. Pavé. 2021. Influencia de los atributos del paisaje en la ocupación de parches de bosque y en la demografía de *Alouatta caraya* en un ambiente fragmentado del noreste de Argentina. Revista Mexicana de Biodiversidad. 92:1-11.

- Granados-Sánchez, D., G. López-Ríos, y F. Hernandez-Garcia. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Chapingo* 13(1):67-83.
- Graves, J., R. Peet, and P. White. 2006. The influence of carbon - nutrient balance on herb and woody plant abundance in temperate forest understories. *Journal of Vegetation Science* 17:217-226.
- Gustafson, E., and G. Parker. 1994. Using an index of habitat patch proximity. *Landscape and Urban Planning* 29:117-130.
- Gutiérrez, A., R. Chávez, and I. Díaz-Hormazábal. 2021. Canopy Gap Structure as an Indicator of Intact, Old-Growth Temperate Rainforests in the Valdivian Ecoregion. *Forest Ecology and Management* 12(9):1-15.
- Hernández, L., J. Jiménez, M. Sánchez, V. Meza, A. Morera, y M. Gutiérrez. 2013. Dinámica y composición del bosque seco tropical de Guanacaste a partir de parcelas permanentes de muestreo (PPM). *Python* 78(2):121-128. Disponible en <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/7462> (Consultado en abril de 2023).
- Inostroza, J. 2021. Propuestas de Restauración Ecológica en fragmentos de bosque nativo de preservación asociado al hábitat de *Citronella mucronata*. 111 p. Memoria de Título. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Chile
- Leichter, A., S. Muller, and F. Gertum. 2015. Forest expansion or fragmentation? Discriminating forest fragments from natural forest patches through patch structure and spatial context metrics. *Austral Ecology* 40:21-31.
- Litton, C., y R. Santelices. 1996. Comparación de las comunidades vegetales en bosques de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser en la Séptima Región de Chile. *BOSQUE* 17(2):77-86.
- Lizana, C. 2017. Propuesta de zonas prioritarias para la recuperación de bosque nativo degradado en la Región de los Ríos, Chile. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Chile.
- Lizana, C. y A. Gutiérrez. 2019. Sitios prioritarios para la recuperación de bosque nativo intervenido en la Región de Los Ríos, Chile. *Investigaciones Geográficas* 57: 4-17.
- Malfetoni, I., J. Delconte, P. Alves, L. Vieira, R. Bueno, and E. Vitor do Couto. 2018. Spatial dimension landscape metrics of Atlantic Forest remnants in Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum* 40(1):1-8.
- McGarigal, K. 2013. Landscape Pattern Metrics. *Encyclopedia of Environmetrics* 1:13
- Moreira-Arce, D., P. Vergara, A. Fierro, E. Pincheira, S. Crespin, A. Alaniz, and M. Carvajal. 2021. Standing dead trees as indicators of vertebrate diversity: Bringing continuity to the ecological role of senescent trees in austral temperate forests. *Ecological Indicators* 129:1-7.
- Moreno, P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 27(2):179-191.

Moreno, M., T. Domínguez, M. Alvarado, J. Colín, S. Corral, y H. Gonzáles. 2018. Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(47):70-93.

Muñoz, F., C. Muñoz, M. Uribe, M. Martín, J. Molina, M. Herrera, J. Álvarez, and L. Marín. 2013. Composición, estructura y diversidad de poblaciones de *Nothofagus glauca* ubicadas en la zona mediterránea de Chile. *Gayana Bot.* 70(1):82-91.

Oyarzún, A., P. Donoso, y A. Gutiérrez. 2019. Patrones de distribución de alturas de bosques antiguos siempreverde del centro-sur de Chile. *BOSQUE*, 40(3), 355–364

Otavo, S., y C. Echeverría. 2017. Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(4):924-935.

Palacios, P. 2003. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque maulino fragmentado. 18 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

Paratori, M. 2009. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea en un bosque secundario de *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) F. M Vasquez & R.A. Rodr. En el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, Región Metropolitana. 43 p. Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Paratori, M. 2022. Supervivencia de cavidades de árboles: un proceso crítico para la biodiversidad del bosque templado andino del sur de Chile. 54 p. Tesis Magister. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Pincheira-Ulbrich, J., J. Rau, y F. Peña-Cortés. 2009. Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Python* 78(2):121-128.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2017. Experiencias de control de especies exóticas invasoras en Áreas Silvestres Protegidas del Estado: 11 casos emblemáticos. Disponible en

<https://especies-exoticas.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3.->

[Libro control EEI areas protegidas enero 2018.pdf](#) (Consultado en abril de 2023).

Ponce, D., P. Donoso, y C. Salas-Eljatib. 2019. Índice de bosque adulto: Una herramienta para evaluar estados de desarrollo de bosques nativos de tierras bajas del centro-sur de Chile. *BOSQUE* 40(2):235-240.

Rebolledo, G., y J. Rau. 2010. Análisis de la estructura y organización de un paisaje forestal en el sur de Chile. *Gestión Ambiental* 19:47-66.

Rempel, R., B. Naylor, P. Elkie, J. Baker, J. Churcher, and M. Gluck. 2016. An indicator system to assess ecological integrity of managed forests. *Ecological Indicators* 60:860-869.

- Rivas, Y., R. Godoy, E. Valenzuela, J. Leiva, C. Oyarzun, y M. Alvear. 2007. Actividad biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Bot.* 64(1):81-92.
- Rodríguez, J. 2001. La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia* 26(10):1-5
- Rodríguez-Catón, M., y R. Villalba. 2018. Indicadores del decaimiento en bosques de *Nothofagus pumilio* en el norte de la Patagonia, Argentina. *Madera y bosques* 24(2):1-15.
- Rodríguez-Catón, M., R. Villalba, A. Srur, and A. Park-Williams. 2019. Radial Growth Patterns Associated with Tree Mortality in *Nothofagus pumilio* Forest. *FORESTS* 13(6):1-18.
- Sagar, R., A. Raghubanshi, and J. Singh. 2003. Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management* 186:61-71.
- Salas, C., V. LeMay, P. Nuñez, P. Pacheco, and A. Espinosa. 2006. Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. *Forest Ecology and Management* 231:38-46.
- Saldías, M. 2017. Programa de investigación en restauración de bosque maulino. Caso de estudio predio Pantanillos, región del Maule. 132 p. Tesis Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.
- Sánchez, R., M. Briones, A. Gamboa, R. Monsalve, D. Berroeta y L. Valenzuela. 2022. Delimitación de áreas quemadas en Chile a partir de umbrales dNBR ajustados según región y cubiertas del suelo. *Revista de Teledetección* 61:43-58.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2015. Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA. Disponible en https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/02/08/guia_ecosistemas_terrestres.pdf (Consultado en abril de 2023).
- Segovia, R., L. Hinojosa, M. Pérez, and B. Hawkins. 2013. Biogeographic anomalies in the species richness of Chilean forests: Incorporating evolution into a climatic – historic scenario. *Austral Ecology* 38:905-914.
- Soto, A. 2022. Propuesta de Instrumentos de Planificación Ecológica en comunidades rurales para determinar el estado de ecosistemas vulnerables. 154 p. Memoria de Título. Universidad de Concepción, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Chile.
- Tierney, G., D. Faber-Langendoen, B. Mitchell, W. Shriver, and J. Gibbs. 2009. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(6):308-316.
- Ugarte, M. 2014. Caracterización del crecimiento en renovales de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb). Oerst) en la comuna de Curacautín, región de la Araucanía. 41 p.

Memoria de Título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Chile.

Uribe, D., D. Geneletti, R. Del Castillo, and F. Orsi. 2014. Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities. *Sustainability* 6:935-951.

Venegas-González, A., F. Roig, A. Gutiérrez, K. Peña-Rojas, y M. Tomazello. 2018a. Efecto de la variabilidad climática sobre los patrones de crecimiento y establecimiento de *Nothofagus macrocarpa* en Chile central. *BOSQUE* 39(1):81-93.

Vergara, G., y J. Ibarra. 2019. Paisajes en transición: gradientes urbano-rurales y antropización del bosque templado andino del sur de Chile. *Revista de geografía Norte Grande* 73:93-111.

APÉNDICES

Apéndice 1: Estructura de entrevista aplicada a expertos locales.

Entrevista para tesis de magister: “Indicadores clave para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*”

Fecha:

Información del entrevistado

Nombre Completo:

Correo Electrónico:

Teléfono de Contacto:

Institución u organización:

Introducción a la investigación:

La presente entrevista, tiene como objetivo identificar los elementos vitales de las poblaciones de *N. macrocarpa* según la composición, estructura, función y estructura del paisaje, para reconocer e incorporar el conocimiento espacial local, enriqueciendo así el estudio y permitiendo una gestión más participativa y sustentable (Álvarez y McCall, 2019).

Preguntas:

- ¿En qué sectores de la cartografía ha visto o sabe que está presente el roble de Santiago o roble blanco?
- ¿Qué tipo de eventos han causado daño a las poblaciones históricamente?
- ¿De lo que conoce y ha percibido del bosque de *Nothofagus macrocarpa* qué le indica a usted que las poblaciones están cada vez más alteradas?

Apéndice 2: Expertos técnico – científicos identificados a través de criterio.

Expertos	Institución	Publicación	Memorias y Tesis	Proyecto	Total	años
1	Universidad de Chile	3	9	2	14	2006-2019

2	Universidad de Chile	1	6	0	7	2008-2010
3	Universidad Mayor	3	0	1	4	2014-2019
4	Universidad de Chile	0	1	1	2	2019-2021
5	Universidad de Concepción	1	1	0	2	2019-2020
6	Universidad de Chile	0	1	0	1	2013
7	Universidad de Chile	0	1	0	1	2019

Apéndice 3: Estructura de entrevista aplicada a expertos técnico – científicos.

Entrevista para tesis de magister: “Indicadores clave para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*”

Fecha:

Información del entrevistado

Introducción a la investigación

La presente entrevista, tiene como objetivo contribuir a la selección de indicadores para definir la alteración de hábitat de las poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*, entendiéndose como indicador a cualquier métrica o variable de un bosque y su entorno, que pueda ser utilizado para inferir su estado actual (Navarro et al., 2008).

Pregunta 1: Describa brevemente qué indicadores o métricas de estructura, composición, función y estructura del paisaje consideraría usted relevante para definir el nivel de alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa* (Roble de Santiago o Roble blanco).

Apéndice 4: Estructura del cuestionario.

Cuestionario para tesis de magister: “Indicadores clave para la evaluación de la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*”

Fecha:

Información del encuestado

Introducción a la investigación

El presente cuestionario, tiene como objetivo orientar la priorización de indicadores ecológicos clave para definir la alteración de hábitat en poblaciones de *Nothofagus macrocarpa*, entendiéndose como indicador a cualquier métrica o variable de un bosque y su entorno, que pueda ser utilizado para inferir su estado actual de degradación (Navarro et al., 2008).

Pregunta 1: Valorización de Indicadores ecológicos

En la hoja 1 del Excel adjunto, se presentan diferentes tablas con los distintos indicadores seleccionados de estructura, composición, función y estructura del paisaje que podrían ayudar a conocer el estado de *N. macrocarpa*. Para cada pareja de Indicadores usted deberá seleccionar uno de los dos tanto el de la izquierda o el de la derecha, de acuerdo con el grado de importancia para definir la alteración en poblaciones de bosque, al criterio seleccionado debe asignarle un puntaje de 1 a 9 como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Escala de valoración de Saaty

Escala	Descripción de la escala
1	El Indicador “x” es igualmente importante que el Indicador “y”
3	El Indicador “x” es levemente más importante que el Indicador “y”
5	El Indicador “x” es notablemente más importante que el Indicador “y”
7	El Indicador “x” es fuertemente más importante que el Indicador “y”
9	El Indicador “x” es extremadamente más importante que el Indicador “y”
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores anteriores, cuando es necesario ajustar

Apéndice 5: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de estructura.

Indicador	Tipo de documento	Citas
Arboles muertos	Artículos científicos	Delgado y Pedraza, 2002; Moreira-Arce et al., 2021; Salas et al., 2006; Tierney et al., 2009; Granados-Sánchez et al., 2007; Rodríguez-Catón et al., 2019; Venegas-González et al., 2018.
	Memorias de Título y Tesis de Grado	Paratori, 2022; Donoso, 2007; Canales, 2020.
Área Basal	Artículos científicos	Sagar et al., 2003; Donoso et al., 2010; Ponce et al., 2019; Hernández et al., 2013.
	Memorias de Título y Tesis de Grado	Alcaras, 2010; Paratori, 2009; Delgado, 2008.
Superficie de claros	Artículos científicos	Oyarzún et al., 2019; Gutiérrez et al., 2021.
	Memorias de Título y Tesis de Grado	Aravena, 2018.

Apéndice 6: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de composición.

Indicador	Tipo de documento	Citas
Abundancia de regeneración de arboles	Artículos científicos	Tierney et al., 2009; Bahamonde et al., 2013; Venegas-González et al., 2018.
	Memorias de Título y Tesis de Grado	Paratori, 2009; Alcaras, 2010
	Documento técnico	CONAF, 2013.
Frecuencia de especie exótica vegetal	Artículos científicos	Tierney et al., 2009; Rodríguez, 2001.
	Memorias de Título y Tesis de Grado	Saldías, 2017
	Informe técnico	CONAF, 2013
Frecuencia de especie	Artículos científicos	Tierney et al., 2009; Castro-Pastene et

exótica animal		al., 2019; Aizen et al., 2002.
	Informe técnico	PNUD, 2017.
Riqueza de especies arbóreas	Artículos científicos	Muñoz et al., 2013; Litton y Santelices, 1996; Graves et al., 2006; Segovia et al., 2013.
	Informe técnico	SEA, 2015.

Apéndice 7: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de función.

Indicador	Tipo de documento	Citas
Crecimiento	Artículos científicos	Tierney et al., 2009; Rodríguez-Catón y Villalba, 2018; Corvalán y Hernández, 2019.
	Memorias de Titulo y Tesis de Grado	Delgado, 2008; Ugarte, 2014.
Producción de hojarasca	Artículos científicos	Doll et al., 2018; Moreno et al., 2018.
	Memorias de Titulo y Tesis de Grado	Palacios, 2003.
	Informe técnico	CONAF, 2018
Almacenamiento de agua	Artículos científicos	Rempel et al., 2016; Rivas et al., 2007.
	Memorias de Titulo y Tesis de Grado	Alfaro, 2018.
	Informe técnico	CORMA, 2015; Frene et al., 2015.

Apéndice 8: Revisión bibliográfica de los indicadores clave de la estructura del paisaje.

Indicador	Tipo de documento	Citas
Relación área-perímetro del parche	Artículos científicos	McGarigal, 2013; Rebolledo y Rau, 2010; Otavo y Echeverría, 2017; Pincheira-Ulbrich et al., 2009.
	Memorias de Titulo y Tesis de Grado	Inostroza, 2021.
Distancia a áreas pobladas	Artículos científicos	Leichter et al., 2015; Vergara y Ibarra, 2019; Alvis, 2009.
Cercanía del fragmento con otros parches de bosque del mismo tipo	Artículos científicos	Lizana y Gutiérrez, 2019; Gorostiaga et al., 2021; Uribe et al., 2014; Gustafson and Parker, 1994; Malfetoni et al., 2018.
	Memorias de Titulo y Tesis de Grado	Arriagada, 2014; Lizana, 2017; Aguilera, 2010.
Tamaño de parche de bosque	Artículos científicos	Tierney et al., 2009; Lizana y Gutiérrez, 2019; Gaublomme et al., 2008; Ecke et

Apéndice 9: Información categorizada entrevista de San Juan de Piche – Alhúe.

¿De lo que conoce y ha percibido del bosque de *Nothofagus macrocarpa* qué le indica a usted que las poblaciones están cada vez más alteradas?

El Roble de la zona central no está en buenas condiciones, los robles gruesos tienen una enfermedad, un hongo que va por dentro comiendo hasta el corazón, el roble nuevo se ve bien vigoroso y todo, pero el roble que es antiguo tiene ese hongo, en este tiempo también están las orquídeas blancas y algunas amarillas que se pueden encontrar, además se siente un relajamiento una conexión con la naturaleza, cada vez que uno va se siente una vibra de aire puro como que los árboles le quieren hablar a uno. Siempre se ve el lagarto gruñidor matizado en el roble, se ven cachañas, la parte más mala que se ve se da en el verano es cuando se ve chaqueta amarilla porque se come a las cachañas guagüitas. El bosque se ha visto distinto con el cambio climático se nota mucho la sequía, de hecho, aquí no ha afectado mucho, pero se nota que hay mucho árbol que se ha secado y muerto, aunque el bosque se ha mantenido no se ha reducido en tamaño, este año estuvo mejor porque cayo harta nieve y todavía hay humedad para que se recupere, además la lluvia es fundamental para este tipo de bosque. La sombra y en otoño el color de las hojas, cuando empieza a brotar viene con su digüeño que es comestible. Se ven matitas nuevas de roble los arbolitos que hay alrededor, los brotes los he visto en el paso los patos que queda para el cajón de Lisboa y en el paso los arrieros, también tiempo atrás vino alguien a hacer un estudio y encontró varios insectos en el sector, lo otro es que se ven cambios en el suelo con el tema de la sequía se ve que el suelo pide a gritos algo de agua. En las hojas hay un bicho que se las come, pero en ciertos robles no en todos, principalmente los árboles que están más enfermos. El roble hay que cuidarlo arto para que siga en la zona, sin el roble se pierden las características del paisaje y se perdería la intensidad de la lluvia, además hay flores y ya en diciembre esta la semilla a fines, ahora no se si la semilla vendrá buena, si viene fertilizada o no, las cachañas comen los brotes de la semilla, aunque quedan pocas cachañas por la cacheta amarilla como le había dicho.

Indicador	Categorización
Estructura	
Composición	
Función	
Estructura del paisaje	

Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales.

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Análisis interpretativo.
Estructura	Es la organización física de un sistema (Noss, 1990).	1. “sé nota que hay mucho árbol que se ha secado y muerto”.	1. “la medición del grosor del tronco cada cierto periodo de años como tres o cinco años”.	1. “se han secado diferentes árboles, árboles que también son resistentes a la aridez”.	1. “El árbol mismo se ha visto con un poco de cambios, se han secado por partes”. 2. “dentro del parque los árboles caídos se mantienen a menos que estén en el camino”.	1. “uno sabe que esta sanito cuando este verdecito esta sanito”. 2. “a veces se nota que están más viejos que se van a caer o árboles que ya se cayeron”.	1. “En el parque nacional no se remueven los árboles caídos porque pensando que hay toda una vida en la que hay allí”.	1. “ya no se ven arboles intermedios y hay momentos en que llega la época de hojas y no las hay”. 2. “Los individuos más viejos se mueren, pero se mantienen, por ejemplo, en el roble más viejo se podía entrar”.	1. “si la hoja esta con ganas de vivir sé que está bien, se nota cuando uno es más triste y el otro más vivo”. 2. “cuanto engrosa un año es para saber cuánto se está demorando en crecer”.	Las coincidencias en la información que proveen los expertos locales relacionadas a la estructura son: 1. arboles muertos. 2. área Basal 3. Árboles caídos.

(Continúa)

Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales. (Continuación)

(Continúa)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Análisis interpretativo
Composición	Tiene que ver con la identidad y variedad de especies en un ecosistema y puede incluir medidas de diversidad (Noss, 1990).	1. “los robles gruesos tienen una enfermedad, un hongo que va por dentro comiendo hasta el corazón” 2. “la parte más mala que se ve se da en el verano es cuando se ve chaqueta amarilla”. 3. “Se ven matitas nuevas de roble los arbolitos que hay alrededor”	1. “La regeneración es un elemento importante”. 2. “para este tipo de bosque siempre debe tener una protección natural de arbolitos chicos”. 3. “Hay caminos que transitan las personas que tienen ganado”.	1. “cuando uno visita los robles se encuentran capsulas de un insecto”. 2. “Hay regeneración por semilla”. 3. “hay que mantener las especies que son de importancia del sotobosque”. 4. “Hay vacas y caballos, que usan para extracción de leña, aunque se ha limitado”.	1. “Hay antecedentes de un hongo que torna las hojas rojitas”. 2. “unos años atrás hubo una plaga de cuncunas, que los secaba, se comía todas las hojas del roble”. 3. “no todos los chititos sobreviven, antes salían más renuevos los robles viejos ya se van para abajo”.	1. “se necesitan las matas chiquitas en el suelo y de diferentes plantas medicinal es”. 2. “Hay liebres y conejos por los cerros”.	1. “hay mucha semilla de árboles que se han utilizado para reforestar algunos puntos”. 2. “la semilla nace lo pilla sequía y mueren”. 3. “los lugareños tienen chivos que es una amenaza para el bosque, la regeneración se la comen”.	1. “No se ha visto mucha renovación”. 2. “antes salían muchas más con digüñes y hongos”. 3. “hacia el sector del robledal hay mucha avispa y más abajo hay murra o mora, invasiones a parte de los conejos, hay perros salvajes”.	1. “por allí se ven matas nuevas, pero se ven crecer y luego se secan”.	Las coincidencias en la información que proveen los expertos locales son: 1. Presencia de regeneración natural de árboles. 2. Presencia de especie animal exótica. 3. Presencia de hongo xilófago. 4. Riqueza de especies 5. Presencia de insectos defoliadores

Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales. (Continuación)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Análisis interpretativo
Función	Se refiere a los procesos ecológicos y evolutivos, como el flujo genético, las perturbaciones y el ciclo de nutrientes (Noss, 1990)	1. “este año estuvo mejor porque cayo harta nieve y todavía hay humedad para que se recupere”	1. “es muy lento el proceso de crecimiento”. 2. “Los árboles están muriendo por la falta de agua, día a día están más seco no sé cómo sobreviven estos árboles”.	1. “La capa de hojarasca que se forma porque se da una especie de miriápodo en la zona del roble”. 2. “hay que mantener la humedad”.	1. “hubo una invasión de rosa mosqueta que ha limitado el crecimiento de las plantas más chiquitas”. 2. “Se debe mantener una capa de tierra de hoja”.	1. “el suelo también este fresquito y no está a todo sol”.	1. “hay que mantener bastante humedad en el suelo”	1. “en los sectores donde la capa de hojarasca es impresionante hay muchas más aves, bichitos e insectos aquí es donde uno compara y se da cuenta de la alteración del bosque”.	1. “en el suelo las hojas secas son importantes”. 2. “la tierra de hoja guarda un poco más de humedad y lo alimenta”.	Las coincidencias en la información que proveen los expertos locales relacionadas con la función son: 1. Almacenamiento de agua 2. Producción de hojarasca 3. Tasa de crecimiento.

(Continúa)

Apéndice 10: Análisis interpretativo de cada componente en las entrevistas a expertos locales. (Continuación)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Análisis interpretativo
Estructura del Paisaje	Están relacionados con la complejidad espacial de un lugar y cuyas características son elementos clave para comprender un hábitat (Noss, 1990).	1. “el bosque se ha mantenido no se ha reducido”. 2. “sin el roble se pierden las características del paisaje”.	1. “Los Robles están en el cordón, no están todos continuos, sino que por secciones”. 2. “En ciertas partes a medio cerro hay matas, secciones que no son tan boscosas”.	1. “El tamaño del bosque ha cambiado a disminuido”.	1. “el paisaje se ha mantenido igual, aunque llega más repentina mente el otoño”.	1. “Incendio hubo el año pasado, no alcanzo a llegar a los robles y solo llego hasta abajo, pero fue cerca”.	1. “el bosque se ha mantenido en extensión, antiguamente cuando era hacienda este sector se explotó muchísimo”.	1. “antes se veía más frondoso, los caminos no estaban tan abiertos”. 2. “uno de los mayores indicadores es mirar el bosque completo”, 3. “los espacios mejor conservados están a alejados del camino y en las quebradas”.	1. “Se nota altiro en el paisaje la diferencia en los cerros cuando están secos a lo lejos”.	Las coincidencias en la información que proveen los expertos locales relacionadas con la estructura del paisaje son: 1. Tamaño de parche de bosque. 2. Cercanía del fragmento con otros parches de bosque 3. distancia a áreas pobladas.

Apéndice 11: Análisis interpretativo para los componentes en las entrevistas a expertos técnico – científico

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Análisis interpretativo de indicador
Estructura	La estructura se refiere a la organización física de un ecosistema (Noss, 1990).	<p>1. “Para poblaciones de Roble de Santiago la cobertura es un buen indicado del estado”.</p> <p>2. “otro indicador asociado al anterior es en el nivel de suelo descubierto o suelo desnudo”.</p> <p>3. “los niveles de estrés han afectado a los Robles y ha generado en ciertos lugares, exposiciones, que el nivel de mortalidad se de en cantidades importantes”.</p> <p>4. “además está la distribución etaria de los árboles y el estado de desarrollo”.</p>	<p>1. “vemos que un individuo muere y queda un espacio”.</p> <p>2. “estos espacios se van agrandando con el tiempo”.</p> <p>3. “otro punto es la cantidad de suelo desnudo, donde uno ve la cantidad de materia orgánica”.</p> <p>4. “El área basal también es un indicador relevante”</p>	<p>1. “lo clásico, parcelas de estructura, tanto del diámetro como la altura y el aporte del área basal”</p> <p>2. “se debe considerar valores de importancia relacionadas al área basal”.</p>	<p>1. Suelo desnudo</p> <p>2. Superficie de claros</p> <p>3. Área basal</p> <p>4. Árboles muertos</p>

(Continúa)

Apéndice 11: Análisis interpretativo para los componentes en las entrevistas a expertos técnico – científico (Continuación)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Análisis interpretativo de indicador
Composición	La composición tiene que ver con la identidad y variedad de especies en un ecosistema y puede incluir medidas de diversidad (Noss, 1990).	<p>1. “otro indicador es la presencia de regeneración y la distribución etaria de esa regeneración”.</p> <p>2. “también se pueden cuantificar las fecas de los principales agentes de degradación que puede variar según la población”.</p>	<p>1. “Lo principal es ver si hay regeneración ese es un indicador clave, si está existiendo regeneración, se establece y hay arboles juveniles, se puede decir que la población está bien”.</p> <p>2. “hay otro indicador de formación flores femeninas, si no hay gran producción de semillas podemos intuir que la población no está bien”.</p> <p>3. “en cuanto a fauna antiguamente se tiraba mucho ganado, ahora hay mucho menos para evitar que el ganado pisotee o altere la zona”.</p>	<p>1. “transectos para conocer la regeneración por semilla en diferentes años”.</p> <p>2. “abundancia de regeneración por semilla”.</p>	<p>1. Presencia de regeneración natural de árboles.</p> <p>2. Presencia de especie exótica animal.</p>

(Continúa)

Apéndice 11: Análisis interpretativo para los componentes en las entrevistas a expertos técnico – científico (Continuación)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Análisis interpretativo de indicador
Función	La función se refiere a los procesos ecológicos y evolutivos, como el flujo genético, las perturbaciones y el ciclo de nutrientes (Noss, 1990).	1. “dinámica regenerativa que habla que la capacidad que están teniendo los bosques de regenerarse y permanecer en el tiempo”.	1. “en el norte hay grandes sectores con mortalidad de individuos”. 2. “donde muere un individuo hay lavado de suelo y no queda la capa de hojarasca”.	1. “la parte del suelo esta poco estudiada y se pueden analizar la diversidad de los microorganismos del suelo”. 2. “acumulación de carbono por año y el crecimiento de los árboles”. 3. “que tanta producción de biomasa producen estos bosques”.	1. Crecimiento. 2. Producción de hojarasca.

(Continúa)

Apéndice 11: Análisis interpretativo para los componentes en las entrevistas a expertos técnico – científico (Continuación)

Categoría	Definición	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Análisis interpretativo de indicador
Paisaje	Están relacionados con la complejidad espacial de un lugar y cuyas características son elementos clave para comprender un hábitat (Noss, 1990).	<p>1. “todas las poblaciones están desconectadas unas de otras”.</p> <p>2. “el nivel de fragmentación a nivel de parche”.</p> <p>3. “el tamaño de los parches podría indicar el nivel de fragmentación”.</p>	<p>1. “otro indicador es el desplazamiento de los robles por parte del bosque esclerófilo”.</p> <p>2. “cómo están en la punta de los cerros no hay mezcla de genes entre las poblaciones debido a su nivel de aislamiento y su lejanía con otros bosques”.</p>	<p>1. “estas son poblaciones aisladas como parches”</p> <p>2. “el gran desafío es estimar cuanto es la superficie real de <i>Nothofagus macrocarpa</i>”</p>	<p>1. Tamaño de parche de bosque.</p> <p>2. Cercanía con otros bosques nativos.</p>

(Continúa)

Apéndice 12: Resultados de la valoración de los componentes e indicadores clave en los cuestionarios.

Los nombres de los indicadores y sus respectivas siglas se presentan a continuación para facilitar la comprensión.

Siglas	Significado
CE	Componente de Estructura
CC	Componente de Composición
CF	Componente del Función
CP	Componente de la estructura del paisaje
AM	Arboles muertos
SC	Superficie de claros
AB	Área basal
RA	Abundancia de regeneración natural de arboles
FA	Frecuencia de especie exótica animal
RE	Riqueza de especies arbóreas
Cr	Crecimiento
AA	Almacenamiento de agua
PDH	Producción de hojarasca
TP	Tamaño de parche de bosque
DP	Distancia a áreas pobladas
CF	Cercanía del fragmento con otros parches de bosque del mismo tipo

Apéndice 12: Resultados de la valoración de los componentes e indicadores clave en los cuestionarios.

a) Valorización de los componentes.

Componentes																								
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CE-CC	1/3	1/6	1/3	3/1	1/3	1/7	1/1	8/1	5/1	1/4	2/1	1/8	1/1	1/2	4/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/3	3/1	3/1	1/4	3/1
CE-CF	1/3	1/7	3/1	1/4	3/1	1/5	5/1	6/1	8/1	1/3	1/5	7/1	4/1	2/1	1/1	1/3	3/1	1/2	1/3	3/1	1/2	4/1	1/2	1/3
CE-CP	3/1	3/1	6/1	4/1	6/1	1/4	1/3	4/1	1/1	1/6	2/1	1/8	1/1	1/4	3/1	1/2	1/1	1/1	1/1	3/1	1/1	3/1	2/1	1/5
CC-CF	3/1	2/1	6/1	1/4	5/1	5/1	5/1	1/3	5/1	3/1	1/4	6/1	1/1	6/1	1/2	1/2	1/1	2/1	1/3	3/1	1/2	3/1	4/1	1/3
CC-CP	6/1	8/1	6/1	4/1	7/1	4/1	1/7	1/5	1/5	1/4	1/2	1/8	1/1	2/1	2/1	1/1	1/1	1/1	2/1	3/1	1/1	1/3	4/1	1/6
CF-CP	6/1	9/1	3/1	9/1	3/1	2/1	1/7	1/3	1/8	1/4	5/1	7/1	1/1	1/5	2/1	1/1	1/1	1/1	3/1	1/2	2/1	1/5	1/1	1/3

b) Valorización de los indicadores de estructura.

Estructura																								
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AM-SC	3/1	1/3	1/9	3/1	6/1	5/1	3/1	1/9	4/1	2/1	1/2	1/7	1/3	7/1	7/1	3/1	1/1	4/1	1/6	1/2	4/1	1/5	3/1	1/5
AM-AB	1/6	5/1	1/3	1/4	4/1	1/3	1/6	2/1	8/1	1/6	7/1	9/1	4/1	1/2	5/1	1/1	8/1	5/1	1/1	1/1	1/1	1/3	1/4	1/8
SC-AB	1/9	7/1	6/1	1/6	1/3	1/7	1/8	9/1	4/1	1/6	7/1	2/1	6/1	1/7	1/3	1/2	8/1	1/1	6/1	1/1	1/2	3/1	1/6	1/2

c) Valorización de los indicadores de composición.

Composición																								
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
RA-FA	1/7	6/1	5/1	5/1	3/1	1/3	6/1	1/5	1/5	7/1	1/8	9/1	8/1	1/1	1/9	1/3	5/1	1/2	5/1	1/2	6/1	1/9	5/1	1/3
RA-RE	2/1	1/3	7/1	4/1	1/3	4/1	1/4	3/1	1/1	5/1	2/1	2/1	1/2	4/1	1/5	5/1	3/1	1/1	4/1	5/1	9/1	1/4	1/3	3/1
FA-RE	8/1	1/9	3/1	2/1	1/4	8/1	1/8	7/1	2/1	1/3	9/1	1/4	1/9	4/1	4/1	7/1	1/3	4/1	2/1	4/1	3/1	4/1	1/7	4/1

d) Valorización de los indicadores de función.

Encuestado	Función.																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cr-AA	1/9	1/7	1/7	8/1	1/8	1/1	1/8	1/8	1/2	5/1	1/5	2/1	1/9	1/7	1/7	1/2	1/7	1/3	1/3	7	1/1	1/1	1/7	1/7
Cr-PDH	1/3	1/3	1/3	4/1	1/2	1/2	7/1	2/1	1/1	7/1	1/5	7/1	1/7	1/2	1/1	4/1	1/3	1/6	1/2	5/1	2	1/9	1/6	1/5
AA-PDH	6/1	3/1	5/1	1/4	5/1	1/3	9/1	7/1	1/1	3/1	1/2	7/1	1/1	6/1	5/1	4/1	3/1	1/3	3/1	1/3	2/1	1/7	1/1	3/1

e) Valorización de los indicadores de la estructura del paisaje.

Encuestado	Estructura del paisaje																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TP-DP	5/1	1/8	4/1	1/2	8/1	9/1	4/1	8/1	8/1	1/9	9/1	1/7	6/1	9/1	1/7	1/3	3/1	9/1	1/3	1/3	2/1	1/1	3/1	1/5
TP-CF	7/1	1/7	1/4	1/6	2/1	1/1	2/1	2/1	4/1	1/3	7/1	1/1	1/1	6/1	1/1	1/5	1/3	2/1	1/5	3/1	1/1	1/1	1/3	1/3
DP-CF	3/1	1/2	1/8	1/6	1/8	1/5	4/1	1/7	1/3	5/1	1/1	1/5	1/8	1/3	7/1	1/1	1/5	1/9	1/3	5/1	1/1	1/1	1/4	3/1

Apéndice 13: Resultados de la valoración de los participantes aplicando la media geométrica.

a) Valorización de los componentes (Media Geométrica).

Encuestado	Componentes																						MG
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
CE-CC	1/3	1/6	1/3	3/1	1/3	1/7	8/1	5/1	1/4	2/1	1/1	1/2	4/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/3	3/1	3/1	1/4	3/1	0.94
CE-CF	1/3	1/7	3/1	1/4	3/1	1/5	6/1	8/1	1/3	1/5	4/1	2/1	1/1	1/3	3/1	1/2	1/3	3/1	1/2	4/1	1/2	1/3	0.90
CE-CP	3/1	3/1	6/1	4/1	6/1	1/4	4/1	1/1	1/6	2/1	1/1	1/4	3/1	1/2	1/1	1/1	1/1	3/1	1/1	3/1	2/1	1/5	1.34
CC-CF	3/1	2/1	6/1	1/4	5/1	5/1	1/3	5/1	3/1	1/4	1/1	6/1	1/2	1/2	1/1	2/1	1/3	3/1	1/2	3/1	4/1	1/3	1.40
CC-CP	6/1	8/1	6/1	4/1	7/1	4/1	1/5	1/5	1/4	1/2	1/1	2/1	2/1	1/1	1/1	1/1	2/1	3/1	1/1	1/3	4/1	1/6	1.36
CF-CP	6/1	9/1	3/1	9/1	3/1	2/1	1/3	1/8	1/4	5/1	1/1	1/5	2/1	1/1	1/1	1/1	3/1	1/2	2/1	1/5	1/1	1/3	1.18

b) Valorización de los indicadores de estructura (Media Geométrica).

		Estructura																					
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	MG
AM-SC	3	1/3	1/9	3	6	5	1/9	4	2	1/2	1/3	7	7	3	1	4	1/6	1/2	4	1/5	3	1/5	1.18
AM-AB	1/6	5	1/3	1/4	4	1/3	2	8	1/6	7	4	1/2	5	1	8	5	1	1	1	1/3	1/4	1/8	1.09
SC-AB	1/9	7	6	1/6	1/3	1/7	9	4	1/6	7	6	1/7	1/3	1/2	8	1	6	1	1/2	3	1/6	1/2	1.01

c) Valorización de los indicadores de composición (Media Geométrica).

		Composición																					
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	MG
RA-FA	1/7	6	5	5	3	1/3	1/5	1/5	7	1/8	8	1	1/9	1/3	5	1/2	5	1/2	6	1/9	5	1/3	1.02
RA-RE	2	1/3	7	4	1/3	4	3	1	5	2	1/2	4	1/5	5	3	1	4	5	9	1/4	1/3	3	1.74
FA-RE	8	1/9	3	2	1/4	8	7	2	1/3	9	1/9	4	4	7	1/3	4	2	4	3	4	1/7	4	1.80

d) Valorización de los indicadores de función (Media Geométrica).

		Función																					
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	MG
Cr-AA	1/9	1/7	1/7	8	1/8	1	1/8	1/2	5	1/5	1/9	1/7	1/7	1/2	1/7	1/3	1/3	7	1	1	1/7	1/7	0.37
Cr-PDH	1/3	1/3	1/3	4	1/2	1/2	2	1	7	1/5	1/7	1/2	1	4	1/3	1/6	1/2	5	2	1/9	1/6	1/5	0.62
AA-PDH	6	3	5	1/4	5	1/3	7	1	3	1/2	1	6	5	4	3	1/3	3	1/3	2	1/7	1	3	1.62

e) Valorización de los indicadores de la estructura del paisaje (Media Geométrica).

		Estructura del paisaje																					
Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	MG
TP-DP	5	1/8	4	1/2	8	9	8	8	1/9	9	6	9	1/7	1/3	3	9	1/3	1/3	2	1	3	1/5	1.64
TP-CF	7	1/7	1/4	1/6	2	1	2	4	1/3	7	1	6	1	1/5	1/3	2	1/5	3	1	1	1/3	1/3	0.89
DP-CF	3	1/2	1/8	1/6	1/8	1/5	1/7	1/3	5	1	1/8	1/3	7	1	1/5	1/9	1/3	5	1	1	1/4	3	0.54

Apéndice 14: Análisis de consistencia

Encuestado	Componentes	Análisis	Estructura	Análisis	Composición	Análisis	Función	Análisis	Estructura del Paisaje	Análisis	Análisis total
1	0.088	CS	0.097	CS	0.045	CS	0.097	CS	0.038	CS	CS
2	0.084	CS	0.023	CS	0.061	CS	0.014	CS	0.027	CS	CS
3	0.084	CS	0.097	CS	0.038	CS	0.038	CS	0.061	CS	CS
4	0.091	CS	0.039	CS	0.099	CS	0.061	CS	0.066	CS	CS
5	0.037	CS	0.039	CS	0.073	CS	0.018	CS	0.090	CS	CS
6	0.091	CS	0.023	CS	-0.006	CS	0.014	CS	0.038	CS	CS
7	0.155	ICS*	0.133	ICS*	0.135	ICS*	0.519	ICS*	0.485	ICS*	ICS*
8	0.067	CS	0.068	CS	0.038	CS	0.094	CS	0.002	CS	CS
9	0.061	CS	0.061	CS	0.098	CS	0.042	CS	0.043	CS	CS
10	0.094	CS	0.066	CS	0.038	CS	0.038	CS	0.025	CS	CS
11	2.441	ICS*	1.560	ICS*	-0.023	CS	0.089	ICS*	1.440	ICS*	ICS*
12	0.081	CS	0.089	CS	0.067	CS	0.047	CS	0.071	CS	CS
13	0.098	CS	0.074	CS	-0.019	CS	0.014	CS	0.034	CS	CS
14	0.057	CS	0.089	CS	-0.023	CS	0.005	CS	0.097	CS	CS
15	0.051	CS	0.038	CS	0.076	CS	-0.002	CS	-0.013	CS	CS
16	0.027	CS	0.016	CS	0.023	CS	0.055	CS	0.002	CS	CS
17	0.054	CS	0.013	CS	0.063	CS	0.014	CS	0.063	CS	CS
18	0.064	CS	0.008	CS	0.057	CS	0.044	CS	0.027	CS	CS
19	0.007	CS	0.061	CS	0.099	CS	0.052	CS	0.063	CS	CS
20	0.094	CS	0.042	CS	0.084	CS	0.038	CS	0.063	CS	CS
21	0.037	CS	0.044	CS	0.097	CS	0.000	CS	0.042	CS	CS
22	0.098	CS	0.063	CS	0.077	CS	0.071	CS	-0.023	CS	CS
23	0.061	CS	0.039	CS	0.023	CS	-0.012	CS	0.073	CS	CS
24	0.064	CS	0.008	CS	0.073	CS	0.023	CS	0.063	CS	CS
CS:		Valores		consistentes;		ICS:		Valores		inconsistent	

