



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

# **Diseño de un Sistema de Monitoreo Participativo para la Restauración de Bosques Degradados en Mashue, La Unión, Chile**

Patrocinante: Sra. Milen Duarte M.

Trabajo de Tesina presentado como parte  
de los requisitos para optar al Título de  
**Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales**

**Nicolás Alexis Gálvez Soto**

**2025**

Índice de materias		Página
i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Resumen	iii
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS	7
2.	METODOLOGÍA	8
2.1	Área de estudio	8
2.2.1.	Contexto ecológico y territorial	9
2.1.1.1.	Características biofísicas generales	9
2.2.	Estrategia metodológica	10
2.3.	Diagnóstico: Estado actual del monitoreo al PRBD en Mashue	11
2.3.1.	Análisis FODA	12
2.3.2	Sistematización y análisis de la base de datos recopilados por el CAPRM	13
2.4.	Re-diseño participativo del sistema de monitoreo del PRBD mediante indicadores y la construcción de la RRE y la RSSE	13
2.4.1	Preselección de indicadores ecológicos y sociales – Lista preliminar	14
2.4.1.1.	Criterios técnicos para la selección de indicadores	14
2.4.2.	Evaluación participativa y validación social de los indicadores preseleccionados	17
2.4.3.	Identificación de vacíos de información para el fortalecimiento del sistema de monitoreo	20
2.6.	Capacitación a los socios del APR Mashue para el monitoreo participativo	26
2.6.1.	Evaluación de las capacitaciones mediante encuestas tipo Likert	27
2.6.2.	Diseño de las encuestas	27
2.6.3.	Aplicación de las encuestas	28
2.6.4.	Estrategia de análisis	28
2.6.5.	Análisis estadístico	28
3.	RESULTADOS	29
3.1.	Diagnóstico del sistema actual de monitoreo al PRBD	29
3.1.1.	Resultados del análisis FODA	29
3.1.2.	Propuestas estratégicas derivadas del análisis FODA-TOWS	30
3.1.3.	Revisión de la sistematización y análisis de la base de datos	31
3.2.	Selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales	33

3.2.1.	Preselección de indicadores ecológicos y sociales	34
3.2.2	Selección final de indicadores para el monitoreo participativo	36
3.3.	Resultados del análisis de vacíos en la base de datos del APR Mashue	37
3.4.	Diseño del sistema de monitoreo participativo para el PRBD en Mashue	40
3.4.1.	Ajustes al modelo actual, protocolos de medición y decisiones metodológicas	41
3.4.2.	Construcción de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) y Rueda de Recuperación Socio-ecológica (RRSE)	44
3.5.	Diseño final del sistema de monitoreo participativo	46
3.6.	Evaluación del impacto formativo de las capacitaciones	47
4.	DISCUSIÓN	48
5.	CONCLUSIÓN	53
6.	REFERENCIAS	55
ANEXOS		64
1	Diseño de muestreo y descripción de variables registradas en cada unidad de muestreo del ER	64
2	Detalle metodológico y resultados obtenidos a partir de la adaptación de indicadores y la construcción de la RRE y RRSE	66
3	Resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el Ecosistema de Referencia	104
4	Lista preliminar de indicadores, criterios de selección, justificaciones que argumentan su selección y las referencias que lo respaldan	106
5	Planillas y bases de datos de los talleres y capacitaciones	107
6	Proceso de talleres participativos y capacitaciones para el desarrollo del diseño del sistema de monitoreo participativo para el “Proceso de Recuperación de Bosques Degradados en Mashue”	109
7	Material de apoyo desarrollado para la implementación de las capacitaciones y que apoyarán la futura implementación del diseño de monitoreo creado	111
8	Bases de datos del muestreo realizado en el ecosistema de referencia	112
9	Planilla de campo para la toma de datos en terreno	115
10	Protocolo operativo del Diseño del Sistema de Monitoreo Participativo del PRBD	116
11	Documento entregado para la aplicación de las encuestas sobre las capacitaciones	119

## I. Calificación del Comité de Calificación

	<b>Nota</b>
Patrocinante: Sra. Milen Duarte	6,5
Informante: Sr. Enrique Cruz	6,5
Informante: Sr. Daniel Koda	6,3

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



---

Milen Duarte

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesina no habría sido posible sin el acompañamiento, el apoyo, el cariño y la generosidad de muchas personas que estuvieron presentes en cada etapa de este camino.

En primer lugar, agradezco profundamente a la Dra. Milen Duarte, por su guía, paciencia y disposición constante que me brindó durante este proceso. Su apoyo fue clave no solo en lo académico, sino también en lo humano. Gracias por ser fuente de inspiración, por acompañarme incluso cuando yo dudaba, y por recordarme con tu ejemplo que la ciencia también puede ser profundamente humana.

A mi familia, gracias por su presencia constante, por los mensajes de aliento, y el cariño silencioso que siempre estuvo ahí. Cada palabra de ánimo, cada gesto, fueron fundamentales para seguir adelante. En especial, a mis dos madres, Salomé y Loley, gracias por ser mi soporte incondicional, por mantenerme funcionando incluso en los momentos más difíciles, y por recordarme siempre quién soy, el por qué y por quienes lucho.

A cada una de las personas que formaron parte de este proceso universitario, gracias por compartir el camino, las conversaciones infinitas, los trabajos en grupo, las risas, los bajones y las celebraciones. Ustedes hicieron que esta experiencia fuera mucho más llevadera y llena de sentido. Me llevo un aprendizaje profundo y también conexiones muy valiosas.

A mi pareja, gracias por estar ahí de forma incondicional, por animarme día a día y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Además, fuiste un pilar fundamental dentro de los procesos de creación, tus manos, tu arte y tu amor, también forman parte de esta tesina.

A la comunidad de Mashue, mis agradecimientos más profundos y sinceros. No solo por abrirme las puertas de su territorio, sino también por inspirar cada una de las páginas de este trabajo. Su experiencia, su compromiso y su sabiduría le dan sentido a esta investigación. En especial, quiero agradecer a don José Luis Buitano, a Blanca, a Delia y a don Raúl, quienes me acompañaron día a día durante mi práctica profesional. Con ustedes encontré una familia, una red de afecto y de aprendizaje continuo que va mucho más allá del trabajo académico. Gracias por enseñarme con paciencia, por compartir la vida cotidiana y por mostrarme que la restauración también se construye desde los vínculos.

*“No solo restauremos, restaurémonos”*

*“Gracias, Gracias, Gracias”*

## RESUMEN

Esta tesina aborda el diseño de un sistema de monitoreo participativo para evaluar el “Proceso de Restauración de Bosques Degradados” en Mashue, Región de Los Ríos. Dicho proceso busca enfrentar los efectos que surgen de la histórica pérdida y degradación ecosistemas. En este contexto, los esfuerzos locales de monitoreo a la restauración han presentado ciertas limitaciones. Así, el objetivo principal fue diseñar una propuesta metodológica contextualizada, fundamentada y socialmente pertinente para el monitoreo participativo (MP) del proceso de restauración socio-ecológica (RSE), orientado a fortalecer las capacidades comunitarias y facilitar la futura implementación del MP. Esto se basó en fundamentos teóricos de la RSE, siguiendo los principios de la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER). La metodología se basó en un proceso iterativo de construcción de indicadores sociales y ecológicos, que incluyó la selección de indicadores, talleres participativos de validación comunitaria y la construcción y adaptación de niveles de recuperación. Esto permitió integrar los resultados en dos herramientas: la Rueda de Recuperación Ecológica y la Rueda de Recuperación Socio-ecológica, compuestas por un total de 20 indicadores categorizados en los siguientes atributos: Gestión y gobernanza, Salud ecosistémica, Ausencia de amenazas, Composición y estructura de la vegetación, Estado del recurso hídrico y Área restaurada. Las conclusiones destacan cómo el proceso participativo permitió consolidar un diseño metodológico coherente con las capacidades locales y alineado con los objetivos de RSE. Además, se enfatiza la necesidad de sostener procesos formativos que fortalezcan la autonomía local en la recolección, interpretación y uso de la información de monitoreo.

**Palabras clave:** Gestión adaptativa, restauración socio-ecológica, atributos ecológicos, indicadores, monitoreo participativo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Históricamente, la percepción de los bosques como productores de madera y leña ha limitado su valoración social (Lara *et al.* 2010). Esta visión reduccionista, sumado a las políticas económicas del país, ha priorizado el crecimiento del sector forestal, situación que ha resultado en la pérdida y degradación de extensas áreas de bosque nativo (Donoso 2006, Lara *et al.* 2010). Entre las principales causas de esto se encuentra la sustitución por plantaciones forestales, habilitación agropecuaria, incendios y prácticas sin criterios silviculturales adecuados, como por ejemplo, la extracción selectiva de los mejores árboles comerciales ("floreo") y la introducción de ganado en el bosque, causas que a través del tiempo han ido generando impactos ambientales y socioeconómicos, ya que han producido una disminución en la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos cruciales, como la regulación del ciclo hidrológico (MEA 2005, Lara *et al.* 2010, Vásquez-Grandón *et al.* 2018). Dado el importante papel de los bosques nativos, es esencial promover políticas y acciones que favorezcan su recuperación mediante la restauración ecológica, lo cual es crucial frente a las presiones de expansión de las plantaciones de especies exóticas y la falta de políticas e incentivos efectivos para detener la pérdida y degradación del bosque nativo (Lara *et al.* 2010).

La degradación de los bosques nativos no solo implica la pérdida de biodiversidad, sino también la disminución de servicios ecosistémicos esenciales, especialmente en contextos rurales donde estos servicios son fundamentales para el bienestar humano y la resiliencia socio-ecológica (MEA 2005, Díaz *et al.* 2015). En estos sectores, la pérdida de bosque nativo compromete la seguridad hídrica de las comunidades al afectar la regulación del ciclo hidrológico, disminuir la calidad del recurso y aumentar la exposición a eventos climáticos extremos (Little *et al.* 2009). Frente a esta pérdida de funciones ecológicas, la "Restauración Ecológica" (en adelante, RE) emerge como una herramienta clave para enfrentar la pérdida y degradación del bosque nativo. La RE, en conjunto con la Degradación y Pérdida de Bosques Nativos (en adelante, DPBN) se estudian de manera recíproca, comprendiendo que un bosque no perturbado puede ser degradado, y que un bosque en estado de degradación o deforestado puede ser restaurado, lo que convierte a la RE en un proceso indispensable para revertir la DPBN (Lara *et al.* 2010, Vásquez-Grandón *et al.* 2018).

La RE se define como el proceso de asistir en la recuperación de un ecosistema degradado, dañado o destruido, con el objetivo de restaurar su funcionalidad y capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos; este proceso busca recuperar las características del ecosistema perturbado en términos de

su función, integridad y capacidad para resistir futuras perturbaciones, enfocándose en los procesos ecológicos, la composición de especies, la estructura comunitaria, la persistencia y la resiliencia del ecosistema (Gann *et al.* 2019). Dichas características se basan en un ecosistema de referencia nativo, buscando caracterizar las condiciones del ecosistema previo a su degradación y ajustándolo según corresponda, con la finalidad de que se adapte a los cambios en las condiciones bióticas y abióticas del entorno, permitiendo trayectorias múltiples de recuperación (McDonald *et al.* 2016, Suding *et al.* 2015).

La Restauración Socio-ecológica (en adelante, RSE) no se limita a la mejora de funciones ecológicas, sino que también incorpora dimensiones como la equidad, la justicia ambiental, la apropiación comunitaria del proceso restaurativo y la capacidad de adaptación frente a perturbaciones futuras (Aronson *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2015, Gann *et al.* 2019). Este enfoque es especialmente pertinente en contextos rurales, donde las comunidades interactúan cotidianamente con los ecosistemas y sus medios de vida dependen directamente de los bienes y servicios que estos proveen (Aronson *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2015, Gann *et al.* 2019)

Para asegurar que las acciones de restauración cumplen efectivamente sus objetivos, es necesario evaluarlas rigurosamente. Un metaanálisis realizado por Rey Benayas, *et al.* (2009) evaluó la eficacia de las acciones de RE sobre diferentes ecosistemas en todo el mundo, evidenciando un efecto positivo en el aumento de la provisión de servicios ecosistémicos. Sin embargo, hoy en día, desarrollar prácticas y acciones de RE eficaces y eficientes es un desafío complejo, debido a la urgencia de mantener la biodiversidad y las funciones críticas de los ecosistemas. Por esta razón, es crucial monitorear y evaluar el éxito ecológico de la restauración, con la finalidad de documentar el rendimiento de las inversiones, generar un enfoque adaptativo y de esta forma, mejorar los esfuerzos futuros para enfrentar la DPBN (Vásquez-Grandón *et al.* 2018, Gann *et al.* 2019, Wortley *et al.* 2013).

El monitoreo es una herramienta fundamental para verificar la efectividad de los procesos de RE, razón por la cual es necesario definir con precisión en qué consiste y cómo se lleva a cabo. Esta herramienta corresponde al proceso de seguimiento sistemático de los cambios que ocurren en un ecosistema desde su estado inicial, antes de la intervención (línea base), hasta su evolución hacia condiciones condición esperadas, lo cual se realiza mediante la recolección y el análisis de datos, permitiendo evaluar el progreso y el éxito de los proyectos de restauración (Gann *et al.* 2019, Wortley *et al.* 2013, Aguilar-Garavito y Ramírez 2015). El objetivo del monitoreo es obtener una perspectiva clara de las tendencias y los cambios en los procesos de restauración, asegurando que las acciones

implementadas están conduciendo al ecosistema hacia su recuperación y permitiendo realizar los ajustes necesarios para mejorar los resultados (Aguilar-Garavito y Ramírez 2015, Gann *et al.* 2019, WWF 2021).

En cuanto a la RSE, el monitoreo no se limita al seguimiento de variables ecológicas, sino que también debe incorporar aspectos sociales, institucionales y culturales que influyen en la sostenibilidad de los procesos restaurativos. Evaluar factores como la participación comunitaria, la apropiación del proceso, la equidad en el acceso a beneficios y la capacidad organizativa local permite obtener una visión más integral del avance y las limitaciones de la restauración (Aronson *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2015, Gann *et al.* 2019). Este tipo de monitoreo multidimensional es especialmente relevante en sectores rurales, donde las comunidades interactúan directamente con los ecosistemas y sus medios de vida dependen de ellos. De esta forma, el monitoreo permite obtener la información necesaria para evaluar y orientar el cumplimiento de los objetivos, identificando problemas, permitiendo emplear de manera oportuna la gestión adaptativa y de esta forma, mejorar las prácticas de restauración (WWF 2021).

Para llevar a cabo el monitoreo de las acciones de restauración, y de esta forma evaluar los efectos de las prácticas de este proceso, es necesario definir indicadores ecológicos acordes a las necesidades del monitoreo (Gann *et al.* 2019, WWF 2021). Un indicador ecológico corresponde a una medida utilizada para evaluar el estado de un ecosistema y su respuesta a las intervenciones de restauración (Dale y Beyeler 2001, Aguilar-Garavito y Ramírez 2015). Estos indicadores son variables o componentes específicos que se seleccionan debido a que su presencia, ausencia o cambios, evidencian las condiciones en que se encuentra el ecosistema (Dale y Beyeler 2001).

Para que los indicadores ecológicos sean útiles en el contexto del monitoreo de restauración, su selección debe estar basada en criterios técnicos rigurosos. Según Dale y Beyeler (2001), un buen indicador debe ser sensible a los cambios ecológicos específicos de lo que se desea evaluar, cuantificable con métodos replicables, relevante para los objetivos y comprensible para los diversos gestores y actores. Los indicadores deben representar atributos clave del ecosistema, como la estructura, la función y la composición (Ruiz-Jaen y Aide 2005). En contextos participativos, los criterios anteriores deben equilibrarse con la factibilidad técnica y la capacidad local para recolectar y analizar los datos, dándole prioridad a indicadores simples, robustos y culturalmente pertinentes (Guijt 2007). Esto requiere traducir los criterios técnicos en formatos comprensibles y aplicables para actores no especializados, de modo que el monitoreo pueda ser asumido colectivamente. Así, la selección de indicadores no solo debe responder a estándares científicos, sino también a las condiciones reales del territorio y las capacidades disponibles en terreno (Reed *et al.* 2008).

Si bien la participación de las comunidades y otros actores en los procesos de planificación y ejecución del monitoreo se considera crucial para la sostenibilidad de los proyectos de RE, esta se identifica como debilidad en estos procesos (Evans y Guariguata, 2016). De esta forma, se destaca al “monitoreo participativo” (en adelante, MP) como una de las estrategias más efectivas para involucrar a las comunidades en estos proyectos, fortaleciendo el impacto de las prácticas y asegurando su continuidad restauración, debido a que es “sistema colaborativo multinivel que involucra a actores locales en la recolección y el análisis de datos, el aprendizaje y la toma de decisiones” (Evans y Guariguata, 2016). Dichos procesos, involucran personas que no habían estado involucradas en el monitoreo con anterioridad y, por ende, es crucial la creación de condiciones favorables que les permitan la participación en todas las etapas del proceso (Guijt 2007). Además, promueve un diálogo de saberes entre el conocimiento ecológico tradicional y el científico (Toledo 2009). En este marco, el diálogo de saberes puede materializarse a través de procesos de coproducción de conocimiento, entendida como la creación conjunta de saberes entre actores con diferentes trayectorias y perspectivas, mediante la integración de conocimientos científicos, locales y tradicionales en redes de colaboración que generan nuevas formas de comprender y gestionar los sistemas socioecológicos (Jasanoff 2006, Hidalgo y Natenzon 2014). Por su parte, Norström *et al.* (2020) definen la co-producción de conocimientos desde el punto de vista de la sustentabilidad como: “Procesos iterativos y colaborativos que involucran diversos tipos de experiencia, conocimiento y actores para producir conocimiento específico del contexto y caminos hacia un futuro sostenible”, los cuales no solo producen conocimiento, sino que también involucran el desarrollo de capacidades, la construcción de redes, el fomento del capital social y la implementación de acciones en función de la sustentabilidad. Desde esta perspectiva, la coproducción se puede expresar en prácticas concretas como el co-diseño del monitoreo participativo, en el cual comunidades locales, técnicos y científicos definen conjuntamente los indicadores, métodos y criterios de evaluación, produciendo información más legítima, útil y apropiada para los distintos actores (Danielsen *et al.* 2005, Tengö *et al.* 2014). A su vez, Lavorel *et al.* (2020) destacan que comprender los “*trade-offs*” y co-beneficios asociados a la gestión socioecológica requiere analizar cómo las personas co-producen servicios ecosistémicos para la adaptación, destacando que estos procesos permiten identificar sinergias entre actores y procesos a diferentes escalas, y de esta forma favorecer la generación de servicios de adaptación que fortalezcan la resiliencia de los sistemas socioecológicos, lo cual refuerza la relevancia de integrar a las comunidades locales como generadoras activas de conocimiento. De esta forma, se reconoce que las comunidades rurales presentan una profunda comprensión de los ecosistemas en los que habitan, a través

de la observación cotidiana, la experiencia entre generaciones y las prácticas culturales propias de su entorno (Berkes *et al.* 2018).

Herramientas como la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE), propuesta por la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, por sus siglas en inglés), permiten evaluar y comunicar el avance de los procesos de restauración mediante indicadores organizados en atributos clave, representados en una escala gráfica de 5 niveles, los cuales reflejan el grado de avance facilitando la evaluación del estado actual del ecosistema y en función de esta, la gestión adaptativa del proceso (Gann *et al.* 2019). Los niveles van del 0 al 5, donde el nivel 0 representa un estado degradado o inicial, y el nivel 5 corresponde a una condición similar al ecosistema de referencia o al nivel deseado de recuperación (Gann *et al.* 2019, McDonald *et al.* 2016). A partir de esta base, se han desarrollado versiones adaptadas como la Rueda de Beneficios Sociales (RBS), que incorporan dimensiones sociales y comunitarias, resultando especialmente pertinentes en contextos rurales donde la restauración requiere integrar gobernanza, cultura y ecología (Wortley *et al.* 2013, Gann *et al.* 2019). Existen escasos estudios de caso en los que se han utilizado la Rueda como herramienta, destacando el estudio de síntesis de McDonald y Dixon (2018) donde recogen diversos ejemplos donde la Rueda de Recuperación Ecológica ha sido aplicada como herramienta de evaluación en proyectos de restauración, especialmente en el contexto australiano. De forma similar, estudios específicos han documentado su implementación en bosques invadidos por especies exóticas en Nueva Zelanda (Cleland *et al.* 2020) y en un sistema ribereño urbano en Sudáfrica (Munsamy *et al.* 2021).

En Chile, el marco normativo para la restauración enfrenta desafíos importantes en cuanto al monitoreo. Si bien la Ley N°20.283 promueve la recuperación del bosque nativo, esta no establece mecanismos obligatorios de monitoreo, y si bien, en esta ley se menciona el concepto de “restauración”, no se incorpora en sus definiciones (Congreso Nacional de Chile 2008, Cruz y Lara 2020). En 2021, dentro del marco de la Década de las Naciones Unidas sobre la Restauración de Ecosistemas, el Ministerio de Medio Ambiente elaboró el Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030, dentro del cual se reconoce la necesidad de crear estándares y protocolos participativos para monitorear proyectos de restauración (Ministerio de Agricultura *et al.* 2021). Sin embargo, en programas impulsados por actores como CONAF y los gobiernos regionales, muchas veces siguen careciendo de lineamientos replicables, dificultando la evaluación comparativa entre las iniciativas de restauración (CONAF 2019). En este contexto, resulta clave avanzar hacia modelos de monitoreo más integrales y contextualizados, capaces de articular los lineamientos institucionales con las capacidades locales. De esta manera las experiencias

comunitarias surgen como una respuesta concreta a la brecha entre planificación y ejecución restaurativa, ofreciendo soluciones adaptadas a realidades territoriales diversas.

Pese a estos avances normativos, persiste una desconexión entre el nivel institucional y la escala territorial, lo que ha generado una brecha metodológica en el seguimiento de los procesos de restauración (Galindo *et al.* 2021, MMA 2020). En este escenario, podrían cobrar relevancia iniciativas comunitarias que emergen desde los propios territorios, las cuales buscan diseñar sistemas de monitoreo adaptados a sus realidades ecológicas, sociales y organizativas. Estas experiencias, suelen surgir como respuesta directa a la falta de instrumentos que orienten el monitoreo posterior a la implementación de acciones restaurativas, y representan una oportunidad clave para avanzar hacia enfoques más integrales y contextualizados. Una de las pocas experiencias documentadas se vive en la comunidad de Mashue, ubicada en la comuna de La Unión, Región de Los Ríos, donde los procesos del cambio y uso de suelo atribuidos principalmente al sector agrícola y forestal han impulsado la pérdida y degradación de los bosques, lo cual se ha traducido en problemas de escasez hídrica que han afectado directamente la calidad de vida de los habitantes (Barichivich *et al.* 2023). Frente a esta situación, desde el 2019, el Comité de Agua Potable Rural de Mashue (CAPR Mashue) ha impulsado, el “Programa de Recuperación de Microcuencas Prediales”, con el apoyo de diversas instituciones como CONAF, el Gobierno Regional de Los Ríos y la Municipalidad de La Unión (Barichivich *et al.* 2023). El programa tiene el objetivo de recuperar las principales microcuencas prediales degradadas de la comunidad, buscando asegurar la provisión de agua en calidad y cantidad para las familias que son beneficiadas por el APR, aunque no formen parte directamente del CAPR Mashue (Barichivich *et al.* 2023). En el contexto de este programa surge el “Proceso de Restauración de Bosques Degradados” (en adelante, PRBD), una estrategia para enfrentar la degradación de los ecosistemas boscosos y mejorar la infiltración, retención y provisión de agua en las microcuencas locales. Esto se lleva a cabo mediante convenios, donde los socios del comité voluntariamente ponen a disposición parte de sus predios para realizar acciones de restauración mediante la plantación de árboles nativos. Estas acciones comunitarias han sido clave para comenzar a revertir la degradación ambiental en Mashue, sin embargo, enfrentan limitaciones dada ausencia de herramientas y capacidades para su seguimiento. Dicha situación, limita la evaluación de resultados y la planificación futura. En este contexto, el PRBD se consolida como una experiencia pionera de restauración comunitaria, abriendo un escenario propicio para diseñar un sistema de monitoreo participativo junto al CAPR Mashue, fortaleciendo sus capacidades en torno a la gestión socio-ecológica del territorio.

En este marco, esta investigación aborda la caracterización de las acciones implementadas a través del “Proceso de Restauración de Bosques Degradados” (PRBD), con especial énfasis en el análisis del

modelo de monitoreo actualmente aplicado por el equipo técnico del comité. A partir de esta revisión crítica, se identifican los indicadores ecológicos y sociales que pueden ser utilizados en función de la información existente, con el propósito de detectar áreas de mejora metodológica y proponer soluciones adaptadas al contexto local. Para ello, se desarrolla un enfoque metodológico basado en el co-diseño participativo, que integra criterios técnicos con conocimientos comunitarios. El proceso contempla el desarrollo de talleres orientados a la capacitación en aspectos clave del monitoreo, así como la construcción conjunta de herramientas adaptadas al territorio. De este modo, la investigación busca integrar tecnologías, saberes locales y estrategias participativas que permitan una recolección de datos eficiente y un análisis más robusto y pertinente del avance del PRBD.

## 1.1. OBJETIVOS

### Objetivo general

Diseñar un sistema de monitoreo participativo para el “Proceso de Recuperación de Bosques Degradados en Mashue”, mediante la selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales, que permitan evaluar el avance del proceso restaurativo.

### Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual del monitoreo al PRBD en Mashue, identificando sus fortalezas, limitaciones y vacíos de información mediante análisis FODA.
2. Rediseñar el sistema de monitoreo del PRBD mediante indicadores y construcción de las Ruedas de Recuperación Ecológica y Socio-ecológica propuestas por la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) como herramientas de evaluación, a través de un enfoque basado en la coproducción de conocimiento.
3. Implementar un proceso de formación comunitaria, orientado a fortalecer las capacidades locales para la aplicación del sistema de monitoreo diseñado.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

La presente investigación de tesina se desarrolló en la localidad rural de Mashue, ubicada en la comuna de La Unión, Región de Los Ríos, en el sur de Chile (ver figura 1). Este territorio ha sido históricamente afectado por procesos de degradación de los suelos y transformación del paisaje, en un contexto donde la comunidad organizada ha impulsado acciones concretas de restauración ecológica mediante el PRBD.

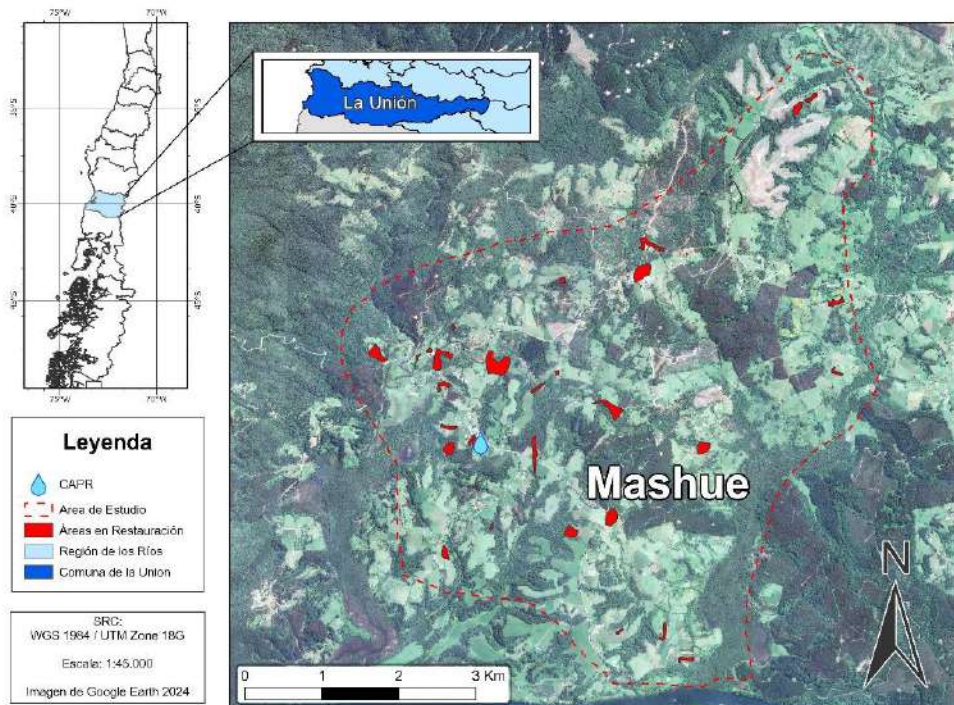


Figura 1. Área de estudio. Áreas en restauración (áreas en rojo) y límites del área de estudio (línea roja punteada) en la localidad de Mashue, comuna de la Unión (área en azul), Región de Los Ríos (área en celeste). El área corresponde a la superficie intervenida mediante el Proceso de Recuperación de Bosques Degradados (PRBD) liderado por el Comité de Agua Potable Rural de Mashue (CAPR) (gota celeste dentro del área de estudio). Elaboración propia.

### 2.1.1. Contexto ecológico y territorial

#### 2.1.1.1. Características biofísicas generales

Mashue se emplaza en la ecorregión del “Bosque templado lluvioso Valdiviano”, reconocida por su alto endemismo, productividad primaria y diversidad de especies leñosas (Armesto *et al.* 1996, Smith-Ramírez 2004). El clima de la zona es templado húmedo con influencia oceánica, presentando temperaturas medias en torno a los 10 °C (Luebert y Pliscoff 2017, DGA 2021). En cuanto a las precipitaciones, específicamente en Mashue, se ha registrado una precipitación anual de 1.100 mm, haciendo de esta zona una de las más secas de la región (Barichivich *et al.* 2023). El relieve es predominantemente colinado, con pendientes moderadas, suelos derivados de cenizas volcánicas y alta capacidad de retención hídrica (CIREN 2010).

El área de estudio ha sido fuertemente transformada debido a procesos de sustitución del bosque nativo por plantaciones de pino y eucalipto, prácticas ganaderas extensivas y actividades agrícolas de subsistencia. Esto ha provocado una degradación progresiva de la cobertura vegetal original, la fragmentación del hábitat y la pérdida de funciones ecosistémicas clave, especialmente aquellas vinculadas a la regulación hídrica.

#### 2.1.1.3. Contexto social, modelo de gobernanza y selección de sitios del CAPR

Mashue es una comunidad rural con larga tradición agroforestal. Históricamente, el uso intensivo de los suelos, sumado a la expansión de plantaciones exóticas y la falta de incentivos para conservar el bosque nativo, generó una pérdida progresiva de la cobertura boscosa y de las principales fuentes de agua que sustentan a la comunidad. Esta situación derivó en una creciente inseguridad hídrica, afectando no solo las actividades productivas sino también la vida cotidiana de las familias (Barichivich *et al.* 2023)

El CAPR Mashue es la principal organización comunitaria del territorio, responsable de gestionar el abastecimiento de agua y liderar iniciativas de desarrollo local. Desde el año 2019, esta organización impulsa el Programa de Recuperación de Microcuencas Prediales, que incluye el PRBD como una de sus líneas de acción estratégicas de este programa. Este comité ha establecido alianzas con CONAF, el Gobierno Regional de Los Ríos y la Municipalidad de La Unión, canalizando recursos y apoyo técnico para implementar acciones de restauración ecológica.

La sede comunitaria del APR no solo funciona como centro operativo del comité, sino que también fue el lugar principal de ejecución de los talleres participativos, las instancias de capacitación y

los procesos de devolución de resultados implicados en esta tesina. Este espacio cumple un rol simbólico, como lugar de encuentro, aprendizaje y toma de decisiones, reforzando el sentido de apropiación del monitoreo por parte de la comunidad. De esta forma la sede sirve como punto de reunión para todo tipo de actividades relacionadas al PRMPD, conformando un espacio sociocultural de gestión y gobernanza del territorio. Además, dentro de estas mismas instalaciones se encuentra el vivero del CAPRM en el cual se desarrollan las plantas que se utilizan para las acciones de restauración.

Las acciones de restauración del PRBD se ejecutan principalmente en predios de socio/as del APR Mashue, quienes destinan parte de su superficie para la plantación de especies nativas (ver áreas de restauración en figura 1). Las plantas incorporadas en las acciones de restauración provienen directamente del vivero del CAPRM en complemento con individuos entregados por CONAF para satisfacer la cantidad de plantas en base a las solicitudes. Estas plantaciones son realizadas bajo convenios firmados con el comité, lo que establece el compromiso de cuidado y seguimiento a través del tiempo.

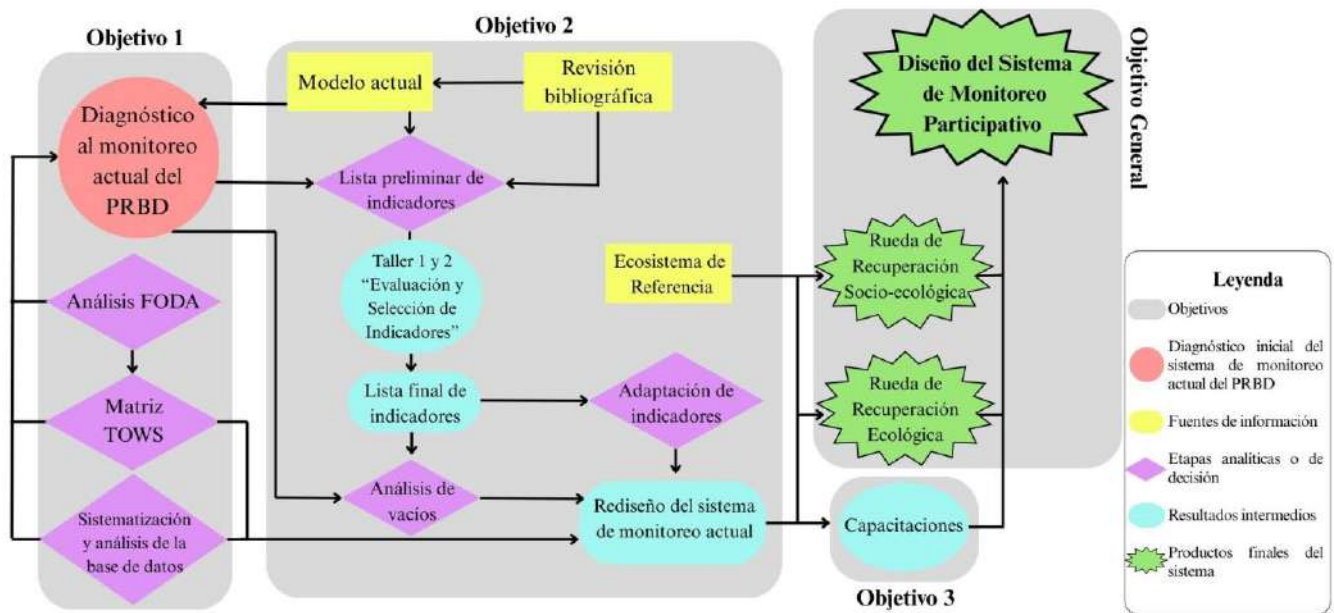
## 2.2. Estrategia metodológica

El desarrollo metodológico de esta investigación se estructuró bajo un enfoque iterativo. Este enfoque resultó especialmente pertinente considerando la naturaleza compleja del sistema a diseñar, que integra dimensiones técnicas y sociales en un contexto comunitario. Se fundamenta en la premisa de que los sistemas socio-ecológicos deben desarrollarse mediante procesos flexibles y adaptativos, en los cuales cada versión sea revisada y ajustada en función de la retroalimentación generada por su aplicación (Royce 1998, Larman y Vodde 2016).

Este tipo de enfoque ha sido reconocido como un proceso especialmente adecuado para el diseño de sistemas de monitoreo participativo, donde convergen la incertidumbre ecológica, el conocimiento local y las validaciones sociales sucesivas (Danielsen *et al.* 2009, Reed *et al.* 2008). Por ello, la metodología implementada no se concibió como una secuencia lineal, sino como un proceso en constante cambio, orientado a fortalecer las capacidades locales, integrar saberes técnicos y comunitarios, y así, generar una herramienta de monitoreo contextualizada y funcional.

El esquema del flujo metodológico iterativo (figura 2) sintetiza las etapas principales de esta investigación desde el diagnóstico hasta la construcción final del sistema de monitoreo participativo evidenciando su carácter progresivo y retroalimentado. Cada etapa se relaciona con las demás,

permitiendo ajustes metodológicos según los resultados obtenidos y las necesidades detectadas en el territorio.



**Figura 2.** Esquema del flujo metodológico iterativo del diseño del sistema de monitoreo participativo para el PRBD en Mashue, estructurado en base a los pasos metodológicos de cada objetivo específico. Elaboración propia.

### 2.3. Diagnóstico: estado actual del monitoreo al PRBD en Mashue

Antes de avanzar hacia un diseño del sistema de monitoreo participativo del PRBD, fue necesario comprender el estado actual de las acciones de monitoreo mediante un análisis FODA-TOWS y la descripción de las actuales formas de monitoreo aplicadas por la APR. Para esto, se realizó un diagnóstico situado, pensado como una herramienta metodológica que permitiera identificar qué datos se están recolectando, cómo se sistematizan, qué actores intervienen y de qué manera estas prácticas responden a las condiciones. Este enfoque no se limitó a una revisión de la información documentada, sino que se construyó desde la inmersión en el territorio, integrando la observación participante, la colaboración institucional y una actitud constante de aprendizaje territorial (Geertz 1983, Kemmis *et al.* 2014, Lave y Wenger 1991, Whyte 1991).

Los antecedentes para realizar una propuesta de FODA se recogieron en base a los antecedentes y discusiones durante la práctica profesional que se llevó a cabo entre enero y febrero del año 2024. En

este periodo se participó en las labores cotidianas del vivero y en las actividades de monitoreo ejecutadas por el equipo técnico del CAPR Mashue. Esta experiencia permitió desempeñar un rol intermedio entre practicante, facilitador técnico y observador-participante, construyendo conocimiento desde el terreno, en diálogo permanente con quienes lideran la implementación del PRBD (Anexo 6, imagen 3). Luego, la propuesta fue llevada a la comunidad, donde en el Taller 1 fue discutida, mejorada y validada.

Este diagnóstico no solo aportó insumos técnicos, sino que también se consolidó como una instancia de co-construcción de conocimiento, en coherencia con los principios del monitoreo participativo. Tal como señalan Guijt (2007) y Evans y Guariguata (2016), este enfoque implica integrar a los actores locales no solo en la generación de datos, sino también en su interpretación y en la construcción conjunta de propuestas para mejorar los sistemas existentes. En este sentido, el desarrollo de un análisis FODA y su análisis estratégico mediante la matriz TOWS se comprenden como herramientas derivadas de este proceso reflexivo colectivo, orientado a fortalecer la pertinencia, funcionalidad y apropiación local del sistema de monitoreo.

### 2.3.1. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta de análisis estratégica utilizada comúnmente para identificar factores internos y externos que afectan un proyecto o proceso, facilitando la toma de decisiones mediante la evaluación de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (Wehrich 1982). Este análisis permitió identificar los factores internos (Fortalezas y Debilidades) y externos (Oportunidades y Amenazas) que afectan el proceso de monitoreo.

Los factores identificados fueron organizados en una matriz estructurada en cuatro categorías:

- Fortalezas: Aspectos internos que favorecen la implementación de un monitoreo participativo.
- Debilidades: Limitaciones internas que dificultan la recolección y gestión de datos.
- Oportunidades: Factores externos que podrían fortalecer el proceso de monitoreo participativo.
- Amenazas: Riesgos o desafíos externos que podrían afectar la sostenibilidad de un monitoreo participativo.

Para identificar las estrategias de acción se llevó a cabo un análisis cruzado de los factores FODA. Para ello, se aplicó la matriz TOWS (Wehrich 1982), una herramienta de análisis estratégico derivada del enfoque FODA que permite generar líneas de acción a partir del cruce sistemático de los factores internos y externos. A través de esta herramienta se generaron propuestas que articulen las fortalezas

existentes con las oportunidades del entorno (FO), al mismo tiempo que se proponen estrategias para abordar las debilidades (DO) y reducir las amenazas externas (FA y DA)

### 2.3.2. Sistematización y análisis de la base de datos recopilada por el CAPRM

Los datos recopilados fueron organizados y limpiados mediante varias acciones específicas: la verificación de consistencia, que implicó comprobar que los datos sean coherentes entre sí y corregir posibles inconsistencias o errores; la eliminación de duplicados, identificando y eliminando registros redundantes para evitar duplicaciones; la normalización de datos, uniformizando las unidades de medida y formatos de fecha para asegurar la homogeneidad de la base de datos; y la completitud de información, verificando datos incompletos y completando los campos faltantes mediante consultas a fuentes adicionales o validaciones con los socios del CAPR Mashue. Este procedimiento permitió complementar la comprensión de las prácticas actuales de monitoreo y los tipos de datos registrados, con lo cual se logró identificar aquellas adaptaciones metodológicas necesarias para un correcto monitoreo.

En cuanto a las variables monitoreadas y los protocolos de medición, estas fueron sistematizadas a partir de los datos recopilados, con el objetivo de tener una visión general el tipo de información que actualmente se recolecta. Esto se utilizó posteriormente para contrastar con los requerimientos de los indicadores seleccionados mediante un análisis de vacíos.

### 2.4. Re-diseño participativo del sistema de monitoreo del PRBD mediante indicadores y construcción de la RRE y la RRSE

El re-diseño del sistema de monitoreo participativo se estructuró mediante un proceso metodológico iterativo de adaptación continua, basado en la experiencia territorial y el contexto organizativo del PRBD (Kerzner 2017, PMI 2017), y en la revisión y mejoras del sistema previamente implementado por el equipo técnico. Este proceso integró cinco insumos clave: análisis FODA, matriz TOWS, revisión crítica del protocolo actual, sistematización de la base de datos e identificación de vacíos de información. Así, se identificaron elementos funcionales, aspectos a mejorar y componentes faltantes, sentando las bases para un sistema más robusto, contextualizado y comprensible. A medida que se obtenía nueva información, estos insumos se articularon de forma progresiva, permitiendo refinar la propuesta, priorizar indicadores, incorporar variables, ajustar protocolos y diseñar formatos de registro adaptados al

contexto local. Como resultado, se formuló un sistema de monitoreo participativo adecuado al territorio, apropiable por la comunidad y orientado a la gestión adaptativa de la restauración, que además sirvió de plataforma metodológica para desarrollar herramientas visuales específicas: la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) y la Rueda de Recuperación Socioecológica (RRSE), adaptada a partir de la RBS, diseñadas para facilitar la evaluación del proceso restaurativo.

Como primer paso de esta nueva propuesta, se avanzó en la selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales que permitieran evaluar el progreso del proceso de restauración de forma sistemática y comprensible para la comunidad. Por consiguiente, se empleó un proceso de construcción participativa de dicha selección de indicadores. Este se desarrolló en tres etapas: 1) una preselección inicial; 2) talleres comunitarios para la discusión, priorización y validación de indicadores; y 3) la definición de la lista oficial de indicadores que conformarán el sistema de MP del PRBD.

#### 2.4.1. Preselección de indicadores ecológicos y sociales - Lista preliminar

Con el objetivo de construir una base sólida para el diseño del sistema de monitoreo participativo del PRBD, se llevó a cabo una etapa inicial de preselección de indicadores. Esta etapa consistió en la revisión técnica de diversas fuentes científicas y metodológicas que permitieran identificar indicadores potencialmente útiles, tanto en dimensiones ecológicas como sociales. Los indicadores preseleccionados fueron organizados y evaluados en función de su pertinencia, aplicabilidad y capacidad de medición, conformando una lista preliminar que luego sería sometida a validación participativa.

##### 2.4.1.1. Criterios técnicos para la selección de indicadores

La construcción de un sistema de monitoreo participativo efectivo requiere previamente la identificación de indicadores relevantes, representativos y medibles, que permitan evaluar el estado del proceso restaurativo desde múltiples dimensiones (Gann *et al.* 2019). Esta identificación se realizó siguiendo recomendaciones de Pullin y Stewart (2006) y Haddaway *et al.* (2015), priorizando estudios aplicables al contexto local y basados en experiencias reales de monitoreo participativo. La evaluación técnica de los indicadores se estructuró en torno a los siguientes criterios: pertinencia, comparabilidad y sensibilidad (Niemeijer y de Groot 2008, Failing y Gregory 2003).

Con base en esta revisión, se definieron tres criterios fundamentales para guiar la preselección de indicadores, descritos a continuación:

- **Pertinencia:** Un buen indicador debe estar vinculado directamente con los objetivos del proyecto y reflejar atributos clave del ecosistema objetivo (Chazdon *et al.* 2008, Gann *et al.* 2019). En este sentido, los indicadores seleccionados fueron evaluados por su capacidad para medir uno o más de los cinco atributos definidos por Gann *et al.* (2019) como esenciales en la RSE. Estos indicadores no debían ser solo descriptivos, sino también útiles para evaluar el progreso hacia condiciones más cercanas al ecosistema de referencia (Magurran 2004).
- **Comparabilidad:** Un indicador útil debe permitir comparaciones entre el estado actual del sistema restaurado y un ecosistema de referencia (McElhinny *et al.* 2005). Esto implica que su metodología de medición sea estandarizada, replicable y, en lo posible, comparable con estudios similares (Clewel y Aronson 2013).
- **Sensibilidad:** Un buen indicador debe tener la capacidad de detectar cambios reales en el tiempo y espacio, reflejando con precisión el impacto de las intervenciones realizadas (García *et al.* 2010). La sensibilidad del indicador asegura que pequeñas pero significativas mejoras sean visibles y retroalimentadas en el proceso restaurativo.

Estos criterios no son independientes entre sí, sino que conforman un marco integrador para garantizar la efectividad técnica y la aplicabilidad social del monitoreo participativo.

#### 2.4.1.2. Fuentes de información utilizadas

La selección de indicadores se basó en tres fuentes principales:

1. **Marco conceptual internacional:** Se utilizaron los principios y estándares propuestos por la SER (Gann *et al.* 2019), los cuales definen los atributos clave del éxito restaurativo y ofrecen orientaciones metodológicas para su evaluación.
2. **Experiencia previa del APR Mashue:** Se revisaron los indicadores ya utilizados por el APR Mashue en procesos anteriores, como el prendimiento, altura y DAC de los árboles plantados.
3. **Revisión bibliográfica:** La selección de indicadores para el diseño del sistema de monitoreo participativo se basó en una revisión bibliográfica estructurada de tipo “*scoping review*”. Este enfoque metodológico permite mapear la evidencia disponible, identificar conceptos clave y sintetizar prácticas relevantes desde una perspectiva amplia y aplicada, sin requerir una crítica metodológica exhaustiva ni una síntesis estadística, como ocurre en las revisiones sistemáticas tradicionales (Booth *et al.* 2016, Gough *et al.* 2017). Este enfoque resultó ser adecuado en este estudio, ya que el objetivo no fue realizar una evaluación crítica de eficacia, sino identificar y agrupar indicadores relevantes y aplicables, tanto desde el punto de vista técnico como

comunitario. Este tipo de revisión ha sido ampliamente utilizada en campos emergentes o interdisciplinarios, donde la diversidad de enfoques y fuentes de conocimiento requiere una aproximación flexible, integradora y orientada a la aplicación práctica (Arksey y O'Malley 2005, Levac *et al.* 2010).

Se consultaron bases de datos académicas tales como, Web of Science y Google Scholar, empleando combinaciones de palabras clave en español e inglés tales como “monitoring indicators”, “ecological restoration”, “community-based monitoring”, “biodiversity indicators”, “restauración ecológica”, “restauración socio-ecológica”, “monitoreo participativo”, “indicadores ecológicos” e “indicadores sociales”. Se establecieron como criterios de inclusión: (1) que los estudios abordaran experiencias prácticas o propuestas metodológicas aplicables a escalas similares al área de estudio (Mashue); (2) que presentaran indicadores concretos tanto ecológicos como sociales; y (3) que emplearan criterios técnicos explícitos como pertinencia, comparabilidad y sensibilidad.

Se dio preferencia a artículos de revisión, estándares internacionales y estudios de caso publicados entre el 2000 y 2023, incluyendo tanto literatura científica como documentos técnicos relevantes. La información obtenida permitió construir una lista preliminar de 24 indicadores, los cuales fueron clasificados en seis áreas temáticas (composición y estructura del bosque, función ecológica, salud ecosistémica, amenazas, recursos hídricos y gobernanza). Cada indicador fue justificado con base en literatura específica, evidenciando su utilidad para reflejar el progreso de la restauración y su aplicabilidad en el contexto del PRBD en Mashue.

Entre las fuentes clave que respaldaron esta preselección se encuentran textos metodológicos como Magurran (2004) sobre diversidad biológica, Chazdon (2008) y McElhinny *et al.* (2005) sobre estructura del bosque, y Wortley *et al.* (2013) en relación con métricas de efectividad en restauración. También se incorporaron documentos internacionales como los Estándares de la SER (SER 2004, Gann *et al.* 2019, WWF 2021), junto con referencias aplicadas a contextos comunitarios como Pretty (1995), Berkes (2009), Reed *et al.* (2008) y Danielsen *et al.* (2009) para indicadores sociales, y revisiones recientes como Suding *et al.* (2015) y Díaz *et al.* (2015), que destacan la importancia de alinear los procesos ecológicos con expectativas y beneficios percibidos por las comunidades.

Los resultados de esta revisión fueron sistematizados en una matriz que permitió mostrar cada indicador en función de los criterios aplicados y su justificación de selección, acompañado de las

referencias bibliográficas que argumentan su selección. Esta matriz sirvió de base para el proceso de evaluación y selección comunitaria de indicadores desarrollada en el Taller 1.

## 2.4.2. Evaluación participativa y validación social de los indicadores preseleccionados

### 2.4.2.1. Taller de evaluación y selección de indicadores

Luego de crear esta lista preliminar, se llevó a cabo un taller participativo titulado “Evaluación y Selección de Indicadores Ecológicos y Sociales Aplicados al Monitoreo Participativo del Proceso de Recuperación de Bosques Degradados”, el cual tuvo como objetivo principal analizar la pertinencia social y las limitaciones técnicas de la lista preliminar de indicadores, permitiendo identificar tanto oportunidades como barreras para su aplicación en el contexto local.

La metodología utilizada para los talleres y posterior capacitación se basó en los principios de la Investigación-Acción Participativa (IAP), la cual favorece la creación de vínculos virtuosos de reflexión, diálogo y acción entre actores, permitiendo así generar acciones y a su vez empoderar a las comunidades que las desarrollan (Durston y Miranda 2002). A través de esta metodología se fomentó la discusión crítica y reflexiva, lo que permitió integrar la perspectiva comunitaria en la evaluación de los indicadores ecológicos y sociales. En este sentido, se trabajó con 2 grupos de entre 6 y 8 personas, quienes participaron activamente en actividades diseñadas para explorar las percepciones locales sobre el proceso de restauración, la importancia de los ecosistemas y los elementos clave a considerar para un monitoreo adecuado.

El desarrollo del taller se estructuró en una serie de etapas. Inicialmente, se presentó el contexto general de la tesina y el programa de trabajo, seguido de una breve exposición conceptual sobre los indicadores, su definición, utilidad y rol dentro del proceso de RSE.

### 2.4.2.2. Dinámica participativa de evaluación

Posteriormente, se realizó una dinámica grupal centrada en la identificación de valores y preocupaciones locales respecto al paisaje, los problemas percibidos y la comprensión del monitoreo. Luego, se presentó la lista preliminar de indicadores y se dio paso a su análisis colectivo mediante una dinámica guiada.

Cada grupo discutió en profundidad cada indicador según la siguiente información: definición, importancia para la restauración, método de medición, frecuencia recomendada, instrumentos requeridos y conocimientos necesarios. Los indicadores se presentaron en una tabla de evaluación (Anexo 5, cuadro 47) que incluía dos dimensiones: Pertinencia Social y Criterios Limitantes. La discusión se realizó de

forma secuencial presentando cada uno de los indicadores y sus características, asignando un tiempo aproximado de cinco minutos por indicador, en un ambiente que incentivó el diálogo y permitió aclarar dudas de los participantes.

#### 2.4.2.3. Criterios de evaluación aplicados en el taller

**A. Criterios limitantes:** Estos criterios evalúan las barreras o restricciones que podrían dificultar la implementación y el monitoreo efectivo de las variables que componen los indicadores. Se basan en los siguientes aspectos:

- a) **Capacidad técnica:** Acceso a equipos e instrumentos necesarios para medir indicadores (por ejemplo, sensores para monitoreo de suelo o calidad del agua).
- b) **Tiempo disponible:** Nivel de compromiso que los participantes deben asumir para monitorear un indicador regularmente.
- c) **Conocimiento especializado:** Necesidad de adquirir conocimientos técnicos específicos a través de capacitaciones o asistencia técnica externa.
- d) **Recursos económicos:** Disponibilidad de fondos para la adquisición de equipos, insumos o para la ejecución de las mediciones.

**B. Pertinencia Social:** Este criterio mide la relevancia y aplicabilidad del indicador en función del contexto social y cultural en Mashue. Busca determinar si un indicador tiene sentido para la comunidad, si es viable aplicarlo con sus recursos y si los socios podrán apropiarse de su monitoreo.

- a) **Vínculo cultural o local:** ¿El indicador está alineado con las necesidades o prioridades de la comunidad?
- b) **Facilidad de implementación comunitaria:** ¿Puede el indicador ser medido sin una alta especialización técnica?
- c) **Impacto percibido:** ¿La comunidad entiende y valora los beneficios de monitorear este indicador?

Luego de este taller se realizó el procesamiento de esta información con la finalidad de realizar la selección de indicadores. Con el objetivo de procesar y resumir los resultados obtenidos a partir del taller 1, se utilizaron los siguientes criterios (cuadro 1 y 2)

### Cuadro 1. Criterios Limitantes y su descripción.

Nivel	Descripción
Alto	Hay limitaciones críticas (económicas, técnicas o de conocimiento) que impiden su aplicación inmediata.
Medio	Existen algunas barreras, pero pueden superarse con capacitación y/o apoyo externo moderado.
Bajo	No se identifican barreras significativas; es posible aplicar el indicador con los recursos actuales.

### Cuadro 2. Pertinencia Social y su descripción.

Nivel	Descripción
No	El indicador no es relevante o aplicable en el contexto local, por lo que no se recomienda su uso.
Capacitación	La comunidad podría aplicar este indicador tras una capacitación específica.
Si	El indicador es relevante, comprensible y aplicable con los recursos actuales de la comunidad.

El análisis posterior permitió clasificar los indicadores según su nivel de aplicabilidad en el contexto local.

#### 2.4.2.4. Jornada de articulación metodológica

Con el objetivo de fortalecer la continuidad y coherencia del proceso monitoreo participativo, se realizó una jornada de articulación metodológica posterior al Taller 1 y previa a la capacitación en terreno. Esta instancia tuvo la finalidad de crear un espacio de retroalimentación colectiva y preparación técnica, en la que se presentaron los resultados obtenidos a partir del Taller 1, particularmente los indicadores priorizados por la comunidad, y se realizó una introducción a la metodología de instalación de parcelas de monitoreo permanente, junto con los protocolos de medición que serían aplicados en las futuras sesiones prácticas.

Esta fue estructurada en dos bloques principales. El primer bloque consistió en la presentación de resultados del Taller 1, donde se compartió y discutió la priorización comunitaria de indicadores ecológicos y sociales, acompañada por una presentación visual que facilitó la comprensión de los criterios utilizados y de las razones que justifican su inclusión en el proceso de monitoreo. El segundo bloque estuvo centrado en la introducción de la metodología para la instalación de parcelas permanentes de monitoreo, la cual será empleada como base para la recolección sistemática de datos ecológicos. Se explicó el diseño propuesto para estas parcelas, incluyendo su tamaño, forma, ubicación estratégica dentro del territorio intervenido y frecuencia de monitoreo. Se abordaron aspectos logísticos como el

marcaje con estacas, el uso de coordenadas GPS para su georreferenciación y la importancia de mantener registros precisos para asegurar la repetibilidad del muestreo a lo largo del tiempo.

Además, se presentaron los protocolos básicos de medición para cada uno de los indicadores ecológicos seleccionados, cuyas variables serán medidas dentro de las parcelas, tales como altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro a la altura del cuello (DAC) de individuos plantados, registro de individuos regenerando individualmente, presencia de especies invasoras y registro fotográfico del sitio. Esta instancia también sirvió para familiarizar a los y las participantes con los instrumentos que se utilizarán en terreno (huinchas métricas, GPS, fichas de campo, brújulas, etc.), promoviendo la apropiación técnica de la metodología.

Esta jornada constituyó un puente metodológico clave entre la selección participativa de indicadores y su implementación en terreno, articulando la dimensión social del proceso con los requerimientos técnicos del monitoreo ecológico. Permitió afinar la lista final de indicadores priorizados, generar acuerdos sobre su aplicación práctica y fortalecer la apropiación comunitaria del sistema de monitoreo, sentando así las bases para las futuras sesiones de capacitación y asegurando la coherencia metodológica del proceso.

#### 2.4.3. Identificación de vacíos de información para el fortalecimiento del sistema de monitoreo

Como parte del fortalecimiento del sistema de MP del PRBD, se llevó a cabo un análisis de vacíos de información con el objetivo de identificar áreas con dificultades dentro de la base de datos existente del APR Mashue. Este análisis consistió en contrastar la información requerida por los indicadores seleccionados con los datos actualmente disponibles en los registros comunitarios, permitiendo así reconocer lagunas críticas en el sistema de seguimiento. Este análisis, se desarrolló tras la priorización participativa de indicadores, y constituyó una herramienta clave para evaluar la viabilidad del monitoreo desde las condiciones reales del territorio.

Para ello, se elaboró una matriz que comparó, para cada indicador, la información necesaria con la efectivamente registrada. Este procedimiento fue inspirado en enfoques metodológicos aplicados en conservación y monitoreo (Jennings 2000, Cantú *et al.* 2011, Suárez-Castro 2021, Rodríguez-González 2022), y consistió en categorizar el nivel de disponibilidad de información bajo tres categorías: “Presente”, cuando la información era completa y útil para calcular el indicador; “Insuficiente”, cuando los datos disponibles eran parciales o no cubrían el requerimiento metodológico completo; y “Ausente”, cuando no existía información vinculada al indicador en cuestión.

Este análisis permitió identificar, tanto en términos de recolección de datos como de implementación metodológica, aspectos críticos que limitan actualmente la capacidad del comité para implementar un monitoreo participativo. En consecuencia, sus resultados son otro de los insumos centrales para la etapa posterior de ajuste metodológico del sistema de monitoreo, así como para el diseño de las estrategias específicas para el fortalecimiento técnico y comunitario.

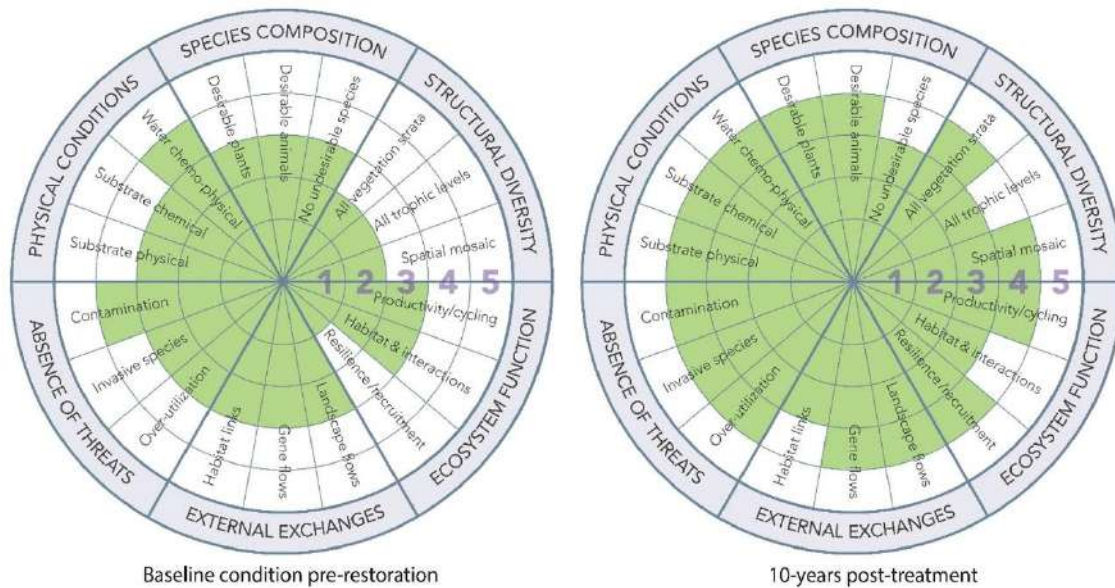
#### 2.5.1.2 Construcción de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE)

El objetivo de esta rueda fue representar gráficamente el estado ecológico de cada una de las parcelas en restauración que conforman el PRBD. Para ello, se diseñaron e implementaron indicadores ecológicos que reflejan dimensiones clave del proceso de recuperación, tales como composición, estructura, y control de amenazas.

La definición de los niveles de recuperación ecológica para cada indicador se basó en criterios técnicos específicos, adaptados al contexto del monitoreo participativo y fundamentados en los valores obtenidos en terreno, literatura especializada y características del ecosistema de referencia. Esta construcción metodológica buscó garantizar la trazabilidad del sistema, su coherencia con enfoques adaptativos y su aplicabilidad en contextos comunitarios. Se priorizaron métricas comprensibles, replicables y técnicamente sólidas, que permitieran tanto su uso por parte del equipo técnico como su apropiación por los socios involucrados en el monitoreo.

Los niveles fueron estructurados siguiendo escalas ordinales de seis categorías (nivel 0 al 5), con intervalos regulares o umbrales funcionales según el caso (Anexo 2), lo cual permite visualizar el avance de las plantaciones hacia el estado deseado. Cabe mencionar que el nivel 0 corresponde a una condición donde no se alcanzan niveles mínimos que hablen del inicio de la recuperación.

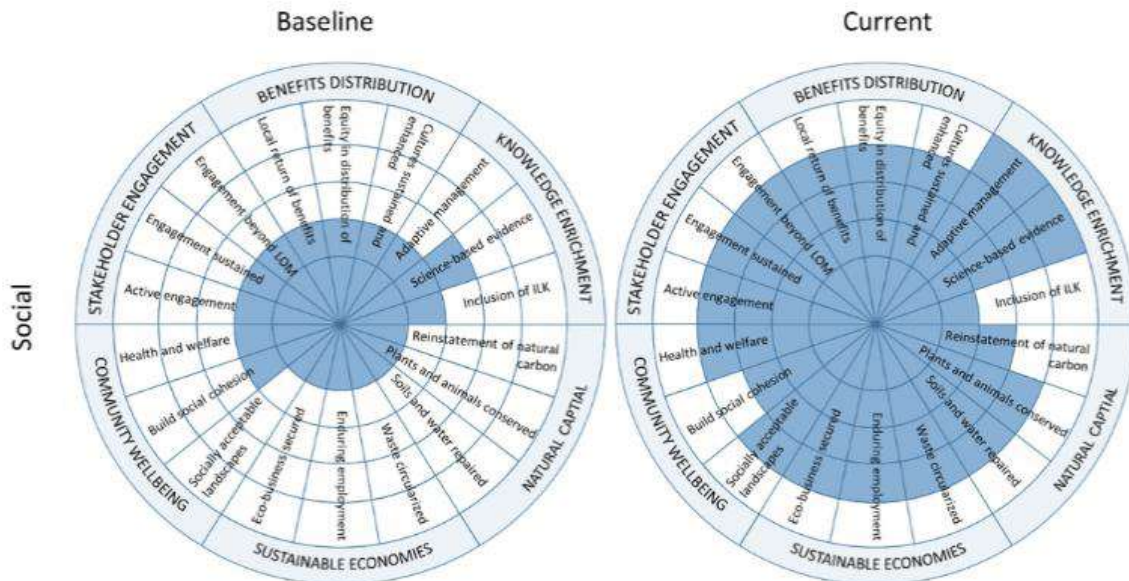
Los niveles de recuperación ecológica definidos para cada indicador se representan gráficamente en la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE). A modo de ejemplo, la figura 3 muestra el uso de esta herramienta en un proyecto de restauración, donde la primera rueda representa la condición de los atributos en su etapa inicial (línea base), mientras que la segunda refleja los avances luego de diez años, evidenciando que más de la mitad de los atributos alcanzan una condición de cuatro estrellas (Gann *et al.* 2019).



**Figura 3.** Ejemplo de aplicación de la Rueda de Recuperación Ecológica en un proyecto de restauración, comparando condiciones de línea base y luego de diez años desde su implementación (Obtenido de Gann *et al.* 2019).

### 2.5.1.3. Construcción de la Rueda de Recuperación Socioecológica (RRSE) - Estado general del PRBD

Ésta RRSE, surge como una adaptación de la RBS propuesta por la SER, buscando integrar aspectos de la RRE y la RBS en un solo instrumento. A continuación, la figura 4 muestra un ejemplo de aplicación de la RBS aplicado acaso de la mina de oro Summitville, en Colorado, EE. UU., donde se comparan las condiciones de línea base y las condiciones actuales tras la implementación de acciones de restauración (Gann *et al.* 2019). Este ejemplo permite visualizar cómo las dimensiones sociales pueden evaluarse en paralelo a los procesos ecológicos, otorgando un marco de referencia para el monitoreo adaptativo.



**Figura 4.** Ejemplo de aplicación de la Rueda de Recuperación Socioecológica en la mina de oro Summitville, Colorado, EE. UU., mostrando condiciones de línea base y condiciones actuales (obtenido de Gann *et al.* 2019).

El objetivo de adaptar e integrar la RRE y RBS en una sola herramienta (RRSE) es representar gráficamente un resumen de los resultados de las acciones de restauración a nivel de todos los sitios restaurados de la PRBD, es decir, una única rueda que sintetice el avance en la restauración considerando los avances de cada sitio. Para esto se tomó en consideración la información obtenida de cada una de las parcelas permanentes por sitio y se ajustaron en función del indicador.

Para esto, se emplearon diferentes tipos de resumen estadístico, seleccionados según la naturaleza metodológica de cada indicador. Indicadores cuantitativos continuos (como sobrevivencia, diversidad específica o estado fitosanitario), cuyos valores varían en una escala numérica amplia, fueron integrados mediante promedios ponderados. Esta técnica permite reflejar la contribución relativa de cada parcela en función del número de individuos evaluados, asegurando una representación proporcional del sistema. Por su parte, Indicadores ordinales cualitativos (como avance estructural, estratos o regeneración natural), que se expresan en niveles discretos (0 a 5), fueron consolidados mediante proporciones de parcelas que alcanzan al menos un umbral específico. Este enfoque permite una lectura agregada coherente con su carácter categórico, facilitando la interpretación comunitaria de los avances.

Esta decisión metodológica busca garantizar la trazabilidad técnica del sistema y una adecuada interpretación participativa, manteniendo la coherencia con los enfoques híbridos del monitoreo participativo socio-ecológico.

En el Anexo 2, se detalla la metodología de construcción de los niveles mediante la adaptación de cada uno de los indicadores que conforman estas dos ruedas.

#### 2.5.1.4. Selección y justificación del ecosistema de referencia

Como punto de partida para la construcción de niveles en los indicadores ecológicos, se definió un ecosistema de referencia local, cuya caracterización permitió establecer parámetros comparativos. Esta estrategia responde a la metodología propuesta por SER (Gann *et al.* 2019), que plantea la necesidad de contar con un ecosistema de referencia para evaluar el progreso ecológico de manera contextualizada.

Con el propósito de establecer una línea base que permitiera comparar el progreso de los sitios en restauración en términos de composición y estructura de la vegetación, se realizaron mediciones detalladas para 5 de los indicadores ecológicos seleccionados en un ecosistema de referencia. Los datos obtenidos fueron fundamentales para definir el nivel más alto de recuperación en la RRE.

El ecosistema de referencia seleccionado corresponde a una plantación de especies nativas de 13 años de antigüedad (figura 5), con una superficie total de 4 ha y un diseño de plantación regular (3 × 4 m), en el cual se plantaron las siguientes especies *Nothofagus obliqua*, *N. alpina*, *N. dombeyi*, *Guevuina avellana* y *Embothrium coccineum*. Previamente, este terreno era propiedad de una empresa forestal y estaba conformado por una plantación de *Pinus* sp. En el año 2013 se lleva a cabo la cosecha de estos árboles (figura 5A) dando paso a la iniciativa impulsada por el CAPR Mashue, quienes hacen posible el comienzo del proceso de restauración de estas 4 ha bajo la observación de que esta sección de la precordillera coincide justamente con la cabecera de la microcuenca Higor, la cual abastece de agua al sistema de APR en Mashue. Luego de 13 años desde la intervención los árboles plantados ya se han establecido (figura 5C) y se encuentran en un avance sucesional considerable.



**Figura 5.** Imágenes del ecosistema de referencia: transición estructural de una plantación nativa entre los años 2013 (A), 2019 (B) y 2025 (C), en la Cordillera de la costa, Mashue, La Unión. Elaboración propia a partir de imágenes obtenidas de Google Earth 2025.

Esta plantación fue escogida como punto de comparación para el monitoreo del PRBD, en lugar de utilizar un relicto de bosque nativo debido a diversas razones. En primer lugar, los relictos de bosque nativo de Mashue y del sur de Chile han sufrido procesos intensos de fragmentación, pérdida de cobertura y degradación estructural y composicional como consecuencia del reemplazo por plantaciones exóticas, la sobrecarga ganadera, la extracción selectiva de especies maderables y los incendios reiterados (Lara *et al.* 2000). Estos remanentes, además, suelen estar aislados en zonas remotas o de difícil acceso, lo que restringe su valor como referentes funcionales viables para procesos de restauración, dado que ya no reflejan condiciones ecológicas de madurez ni una organización estructural coherente con bosques poco intervenidos.

En contraste, la plantación seleccionada representa un ecosistema gestionado bajo principios de restauración activa, utilizando especies nativas y sin alteraciones significativas desde su establecimiento. Esta intervención es reconocida por la comunidad como plantación modelo del éxito de las acciones de restauración implementadas. Además, los lineamientos metodológicos utilizados para esta plantación son los mismos en los que se basan las plantaciones que se ejecutan hoy en día en Mashue, siguiendo una configuración espacial similar en todos los casos.

#### 2.5.1.4.1. Diseño de parcelas y subparcelas

Para la caracterización de la estructura y composición del ecosistema de referencia, se establecieron tres parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> (radio  $\approx$  12,62 m). Esta superficie total muestreada (1.500 m<sup>2</sup>) representa un 3,75% del área total de la plantación. Las parcelas fueron distribuidas sistemáticamente dentro del sitio, procurando capturar la variabilidad estructural interna del ecosistema de referencia,

siguiendo criterios técnicos de homogeneidad y representatividad del diseño de plantación. Para ello, se consideraron aspectos como la distribución espacial original (plantación regular a  $3 \times 4$  m), el acceso a los sitios y la ausencia de disturbios locales recientes (caída de árboles, ingreso de ganado, intervención antrópica). Este enfoque se fundamenta en criterios técnicos de representatividad espacial y facilidad de implementación, aspectos relevantes en contextos de monitoreo participativo donde la consistencia en el tiempo y la viabilidad técnica son claves para asegurar la continuidad del proceso restaurativo (Sutherland 2006, Danielsen *et al.* 2009).

En cada parcela se registraron cinco variables: regeneración natural de especies nativas, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura del individuo, diversidad de formas de crecimiento y riqueza de avifauna (detalles metodológicos en Anexo 1).

## 2.6. Capacitación a los socios del APR Mashue para el monitoreo participativo

Con el objetivo de fortalecer las capacidades comunitarias para el monitoreo participativo del PRBD, se llevaron a cabo tres instancias de capacitación replicando la misma metodología con diferentes grupos de participantes, con el objetivo de lograr la mayor participación de socio/as posible. Cada jornada se estructuró en dos etapas: una sesión teórica, realizada en la sede del APR Mashue, y una actividad práctica en terreno (Anexo 6).

La fase teórica incluyó una introducción general al proceso de monitoreo, junto con una revisión de los avances logrados hasta ese momento, retomando los contenidos abordados en los talleres anteriores y aplicando una breve encuesta con escala tipo Likert inicial y final, con el objetivo de identificar el conocimiento de las personas sobre el monitoreo de la restauración y luego evaluar si la capacitación generó nuevos conocimientos. En este contexto, se presentó el material de apoyo diseñado específicamente para acompañar a los socios en el proceso de monitoreo participativo a lo largo del tiempo. Este material incluyó una guía de identificación de especies, una guía de indicadores ecológicos, trípticos explicativos con el paso a paso para la instalación de parcelas permanentes y para las mediciones en terreno (Anexo 6), así como la planilla oficial diseñada para la recolección de datos en cada parcela de monitoreo permanente (Anexo 9). El material de apoyo fue entregado en una carpeta individual para cada socio/a participante, con el objetivo de que esta sea una herramienta de trabajo y de archivo para registrar año a año las mediciones realizadas en las parcelas permanentes de cada socio/a.

Posteriormente, se desarrolló la salida práctica a terreno en un predio de un socio del APRM que cuenta con una parcela permanente previamente establecida. En este sitio se realizó una demostración del procedimiento para la instalación de parcelas permanentes, enfatizando los materiales necesarios, dimensiones requeridas y criterios de selección del sitio. Luego, los participantes realizaron ejercicios de medición de variables como altura, DAP y estado fitosanitario, aplicando los conocimientos adquiridos de forma directa y colaborativa.

Al finalizar la jornada, se aplicó nuevamente la encuesta, en este caso con el propósito de evaluar los cambios auto-percibidos en el nivel de conocimiento y capacidades como resultado de la capacitación. La comparación entre los valores antes y después del ejercicio práctico, permitió establecer un marco evaluativo sobre el efecto formativo de la experiencia, y fue complementada con una instancia de retroalimentación grupal en la sede del APR, donde los y las participantes compartieron percepciones, aprendizajes y sugerencias para continuar fortaleciendo el monitoreo participativo.

#### 2.6.1. Evaluación de las capacitaciones mediante encuestas tipo Likert

El análisis de las encuestas respondió a una lógica comparativa entre los valores antes y después de cada capacitación. La encuesta incluyó tres secciones temáticas que reflejaban los principales contenidos tratados: (1) fundamentos del monitoreo participativo, (2) procedimientos para la instalación de parcelas permanentes, y (3) técnicas de medición en terreno.

#### 2.6.2. Diseño de las encuestas

Para evaluar el nivel inicial de conocimiento, comprensión y autoconfianza de los y las participantes en torno al MP se diseñó una encuesta (Anexo 11), estructurada en escala tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo). Esta encuesta fue dividida en tres secciones temáticas que se correspondieron a los contenidos abordados en cada jornada:

- **Sección 1:** Comprensión sobre la implementación e importancia de un Monitoreo Participativo para el Proceso de PRBD en Mashue (10 ítems).
- **Sección 2:** Procedimientos para la instalación de parcelas permanentes de monitoreo (6 ítems).
- **Sección 3:** Técnicas de medición en terreno y uso de planillas de recolección de datos (13 ítems).

Cada sección agrupó entre 6 y 13 afirmaciones redactadas en primera persona, buscando recoger dimensiones tanto cognitivas como actitudinales relacionadas con la formación respecto al MP.

### 2.6.3. Aplicación de las encuestas

Las encuestas fueron aplicadas de manera autoguiada e individual en dos momentos: inmediatamente después de presentar el material de apoyo, previo a la capacitación en terreno (Pre), y después de la capacitación en terreno (Post). Para mantener la consistencia, los ítems no variaron en su formulación entre ambos momentos, lo que permitió evaluar cambios atribuibles a la capacitación. Es decir, se aplicó la misma encuesta antes y después de la capacitación en terreno.

Además, para asegurar la correspondencia de las respuestas a nivel individual y permitir el análisis comparativo de tipo intraindividual, los formularios Pre y Post fueron emparejados mediante un código anónimo asignado a cada participante. Este emparejamiento garantizó que los cambios observados en las respuestas pudieran atribuirse al mismo participante antes y después de la capacitación, reforzando así la validez del análisis estadístico aplicado.

### 2.6.4. Estrategia de análisis

La sistematización de la información obtenida en las encuestas se organizó en hojas de cálculo de Microsoft Excel versión 365, y procesados posteriormente en el software Rstudio versión 4.5.0 (R Core Team 2025). Se reestructuró la base en formato largo, codificando la información por persona, momento, sección e ítem evaluado, y luego, transformando las puntuaciones obtenidas en variables numéricas para su análisis estadístico.

Dado que los ítems estaban agrupados por sección, se optó por realizar el análisis a nivel de sección y no de pregunta individual. Esta decisión se basa en dos consideraciones metodológicas: (1) la necesidad de reducir el ruido estadístico y evitar problemas de múltiples comparaciones propios de analizar cada ítem por separado, y (2) el enfoque pedagógico del programa de capacitación, el cual fue diseñado y ejecutado en bloques temáticos. De esta forma, evaluar los efectos agregados por sección permitió un análisis coherente con la estructura del proceso formativo (Taller 1, taller 2 y capacitación) y favoreció la interpretación de los resultados.

### 2.6.5. Análisis estadístico

Para cada combinación de participante y sección se calcularon los promedios de las respuestas Pre y Post, con el objetivo de comprender el nivel auto-percibido de aprendizaje y/o apropiación conceptual de cada sección.

Considerando que el diseño implicó medidas repetidas por cada persona (Pre y Post) y que además existe anidamiento entre estas respuestas (ítems dentro de secciones, secciones dentro de personas), se aplicó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM), conocida como una técnica adecuada para estructuras jerárquicas de datos y comparaciones intraindividuales (Field *et al.* 2012).

Este modelo fue implementado en R mediante el paquete *lme4*, utilizando el método REML para la estimación de parámetros (Bates *et al.* 2015). Para obtener valores p, se empleó el paquete *lmerTest*, que aplica el método de Satterthwaite para aproximar los grados de libertad, especialmente útil en estudios con tamaño muestral reducido (Luke 2017).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Diagnóstico del sistema actual de monitoreo al PRBD

##### 3.1.1. Resultados del análisis FODA

El análisis FODA permitió identificar los principales factores que inciden en el desarrollo de un monitoreo participativo para el PRBD (cuadro 3 y 4). A partir de este análisis se obtuvo la siguiente matriz:

**Cuadro 3.** Fortalezas y debilidades identificadas en el análisis FODA del monitoreo participativo del PRBD en Mashue.

Fortalezas (F)	Debilidades (D)
Compromiso comunitario con la gestión del territorio.	Falta de sistematización de la información recolectada.
Interés en la implementación de prácticas de restauración socio-ecológica.	Escasa capacitación técnica en metodologías de monitoreo.
Conocimiento local sobre el entorno, antecedentes ecológicos y factores de degradación.	Limitaciones en infraestructura y equipamiento para mediciones en terreno.
Existencia de una estructura organizativa funcional (APR consolidado).	Falta de personal capacitado para las acciones de monitoreo.
Disposición comunitaria a participar en instancias formativas.	-
Interés por desarrollar conocimientos mediante nuevas prácticas	-

Entre las fortalezas se destacan el compromiso comunitario, conocimiento sobre antecedentes ecológicos locales y factores de degradación y una estructura organizativa consolidada. No obstante, también se evidencian debilidades como la falta de sistematización de datos, escasa capacitación técnica y limitaciones en infraestructura, que dificultan la continuidad y rigurosidad del monitoreo.

**Cuadro 4.** Oportunidades y amenazas identificadas en el análisis FODA del monitoreo participativo del PRBD en Mashue.

Oportunidades (O)	Amenazas (A)
Creciente interés social por la conservación y la gestión comunitaria del territorio.	Falta de apoyo sostenido por parte de entidades externas, incluyendo falta de financiamiento a largo plazo.
Disponibilidad de fondos públicos orientados a iniciativas socioambientales.	Impactos de la degradación de los ecosistemas.
Posibilidad de colaboración con otros APRs, organizaciones e instituciones académicas.	Falta de reconocimiento formal del monitoreo participativo en instancias de decisión institucional.
Marcos normativos que promueven la participación ciudadana.	-
Acceso a tecnologías de bajo costo y adaptadas al contexto rural.	-
Existencia de redes de colaboración entre organizaciones rurales y comunitarias.	-

A nivel externo, se reconocen oportunidades vinculadas al creciente interés social por los temas ambientales, la posibilidad de vinculación con diferentes organizaciones, otros APRs instituciones académicas y la existencia de fondos públicos para iniciativas de conservación. Sin embargo, también se enfrentan amenazas como la falta de reconocimiento institucional del monitoreo participativo, la pérdida de conocimientos tradicionales y los efectos del cambio climático.

### 3.1.2. Propuestas estratégicas derivadas del análisis FODA-TOWS

El cruce de estos factores permitió generar una matriz TOWS (Cuadro 5), la cual traduce la información del análisis FODA en propuestas estratégicas concretas que articulan las condiciones y capacidades comunitarias con las oportunidades externas, y al mismo tiempo, proponen líneas de acción para mitigar las debilidades y amenazas identificadas.

**Cuadro 5.** Matriz TOWS derivada del análisis FODA del monitoreo participativo del PRBD en Mashue.

Tipo de estrategia	Descripción
FO	Desarrollar un sistema de monitoreo participativo, mediante ajustes al monitoreo actual implementado, aprovechando el compromiso local y la posibilidad de colaboración con instituciones técnicas.
	Desarrollar instancias de formación para la participación en el proceso de monitoreo participativo mediante talleres y capacitaciones dirigidas a la comunidad.
	Implementar herramientas accesibles para sistematizar la información, basadas en el conocimiento ecológico local y la experiencia del APR.
DO	Desarrollar una base de recolección que permita generar la información necesaria para reforzar las postulaciones a fondos públicos para apoyar el PRBD.
	Incorporar metodologías participativas y adaptadas al contexto local para superar la baja formación técnica de monitoreo y la falta de sistematización.
FA	Promover el reconocimiento social del monitoreo comunitario mediante la generación de información y visibilizar los resultados de las acciones de restauración.
	Utilizar los saberes e intereses locales como base para la selección de indicadores adecuados para el monitoreo participativo al PRBD.
DA	Diseñar acciones de monitoreo sostenibles con recursos locales y resilientes frente a una baja participación.
	Establecer mecanismos comunitarios de gestión adaptativa para enfrentar los efectos que trae la degradación de ecosistemas.

Desde una perspectiva estratégica, los resultados del análisis FODA y su derivación en la matriz TOWS permiten concluir que la comunidad de Mashue cuenta con atributos organizativos, sociales y culturales favorables para la implementación de un sistema de MP. Asimismo, la presencia de conocimientos previos del ecosistema local y sus factores de degradación generan una oportunidad importante para interpretar la información ecológica generada de manera adecuada.

De esta forma, es que a partir de estos análisis se propone el diseño de un sistema de monitoreo participativo para el PRBD, mediante la selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales, que permita evaluar el avance del proceso restaurativo de forma contextualizada, comprensible y aplicable a través una adaptación de la Rueda de Recuperación Ecológica.

### 3.1.3. Revisión de la sistematización y análisis de la base de datos

A continuación, se presenta una síntesis de los principales aspectos evaluados durante la sistematización y el análisis de la base de datos de la información recolectada en terreno, incluyendo la situación actual, los problemas detectados y sus implicancias directas sobre la calidad y aplicabilidad del monitoreo. El cuadro 6 resume los principales hallazgos obtenidos tras el análisis de la información histórica del sistema de monitoreo. Se identificaron problemáticas relacionadas con la ausencia de registros clave, falta de sistematicidad en las mediciones, ambigüedad en la identificación de individuos monitoreados, entre otros.

**Cuadro 6.** Análisis de aspectos críticos del modelo actual de monitoreo basado en la sistematización de la base de datos del CAPR Mashue.

Aspecto Evaluado	Situación Actual	Problema Detectado	Implicancia para el monitoreo
Datos duplicados	Registros repetidos en la base de datos	Errores de interpretación y sobreestimación de resultados	Requiere limpieza de datos para asegurar confiabilidad de análisis
Monitoreo previo a plantación	No se realiza	No se puede establecer una línea base ni evaluar cambios atribuibles a la intervención	Dificulta la evaluación del establecimiento en etapas iniciales de la plantación
Identificación individual de árboles	Los árboles plantados no están identificados individualmente	Imposibilidad de hacer seguimiento a individuos específicos y confusión con replantes. Dificulta evaluar mortalidad.	Genera inconsistencias al comparar mediciones a lo largo del tiempo
Registro de replantes	No se registran claramente los replantes en las bases de datos	Parámetros como altura o DAC pueden disminuir sin explicación aparente	Sesgos en los datos y malinterpretación de los resultados
Método de plantación	No se registra el método de plantación usado	Imposibilidad de comparar la efectividad de diferentes técnicas	Impide ajustes adaptativos basados en evidencia
Frecuencia de monitoreo	No existe una frecuencia definida	Monitoreos desorganizados y con baja trazabilidad en el tiempo	No se puede establecer patrones de evolución del ecosistema
Datos duplicados y/o incongruentes	Valores inconsistentes entre registros	Errores en análisis de cobertura y avance	Requiere validación cruzada y corrección manual de registros

Por otro lado, se identificaron los pasos seguidos en la implementación de las parcelas permanentes de monitoreo por parte del equipo del CAPR Mashue. Este protocolo fue desarrollado con los recursos disponibles, recurriendo al ingenio y la experiencia práctica del contexto rural, en un esfuerzo autogestionado y participativo por parte de la comunidad, el cual busca facilitar el registro periódico de variables ecológicas dentro de las plantaciones realizadas.

Una vez ejecutada la plantación, se instala una parcela circular de 500 m<sup>2</sup> (radio = 12,6 m) en una zona representativa del predio, seleccionada en base a criterios de cobertura vegetal, accesibilidad y seguridad (figura 6). Para su delimitación, se utiliza una herramienta construida localmente que permite

marcar ocho puntos de referencia equidistantes, distribuidos según los puntos cardinales y sus intermedios (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Estos puntos se marcan en terreno con estacas de PVC.

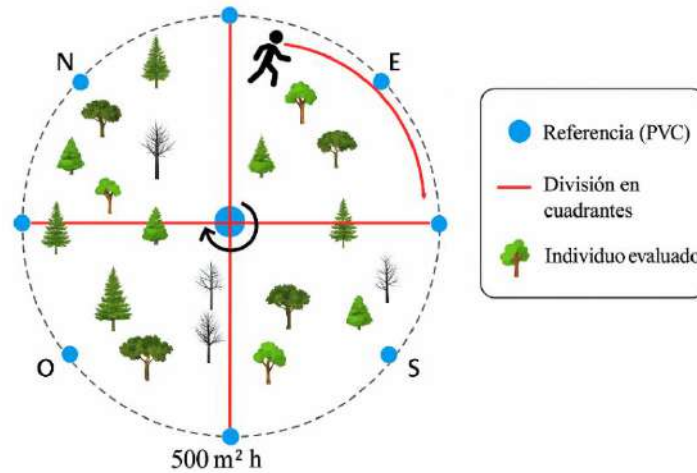


Figura 6. Esquema representativo del protocolo actual de instalación de parcelas circulares permanentes utilizadas en el monitoreo comunitario del PRBD.

Posteriormente, el círculo se divide en cuatro cuadrantes mediante la extensión de cuerdas que cruzan el centro de la parcela, facilitando así el orden en el recorrido y la toma de datos. En cada monitoreo se registra individualmente la altura y el diámetro a la altura del cuello (DAC) de los individuos vivos plantados dentro de la parcela, así como su estado de sobrevivencia. Adicionalmente, se realiza una revisión general de la presencia de especies invasoras y se anotan observaciones relevantes sobre el estado general de la plantación.

En conjunto, los hallazgos obtenidos a partir de la sistematización de la base de datos permitieron visualizar con mayor claridad las fortalezas y limitaciones del sistema de monitoreo implementado por el CAPR Mashue. La identificación de registros inconsistentes, ausencia de ciertos parámetros clave y falta de estandarización metodológica evidenció la necesidad de ajustes que fortalezcan la trazabilidad de la información y la capacidad evaluativa del proceso de restauración. Estos resultados sirvieron como base fundamental para orientar los siguientes pasos en esta investigación.

### 3.2. Selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales

Tras el diagnóstico inicial del modelo de monitoreo del PRBD se hizo evidente la necesidad de rediseñar el sistema de seguimiento, orientándolo hacia un enfoque participativo, contextualizado y aplicable a nivel local. Como primer paso, se avanzó en la selección y adaptación de indicadores ecológicos y sociales que permitieran evaluar el progreso del proceso de restauración de forma sistemática y comprensible para la comunidad. En esta sección se presentan los resultados del proceso de construcción participativa de dicha selección de indicadores, el cual se desarrolló en cuatro etapas: una preselección inicial según criterios de pertinencia, comparabilidad y sensibilidad; talleres comunitarios para la discusión, priorización y validación de indicadores; y finalmente la definición de la lista oficial de indicadores que conformará el sistema de MP del PRBD en Mashue.

#### 3.2.1. Preselección de indicadores ecológicos y sociales

Como resultado del proceso de preselección, se obtuvo una lista preliminar compuesta por 25 indicadores, de los cuales 14 corresponden a indicadores ecológicos y 11 a indicadores sociales. Con el objetivo de facilitar su análisis y aplicación, los indicadores fueron clasificados en siete áreas temáticas: (1) Superficie en restauración, (2) Salud ecosistémica, (3) Estructura y composición de especies, (4) Funcionalidad del ecosistema, (5) Amenazas, (6) Recurso hídrico, y (7) Gestión y gobernanza.

Dado el volumen de información contenida, que incluye definiciones, criterios técnicos aplicados, fundamentos bibliográficos y justificaciones específicas, la sistematización completa de estos indicadores se presenta en el Anexo 2.

##### 3.2.1.1. Evaluación participativa y validación social de los indicadores preseleccionados

A partir del taller de Selección de Indicadores, se obtuvo una evaluación de cada uno de los grupos participantes tanto para los indicadores ecológicos (cuadro 7) como sociales (cuadro 8).

**Cuadro 7.** Evaluación comunitaria de la lista preliminar de indicadores ecológicos según niveles de pertinencia social y criterios limitantes. Incluye observaciones de quienes participaron.

Tipo de Indicador	Indicador	Pertinencia Social	Criterios limitantes	Observaciones
Ecológico	Diversidad de especies	Si	Medio	Aplicable con capacitaciones respecto a la identificación de especies.
	Área en restauración	Si	Bajo	Falta conocimiento técnico de medición
	Estructura de la vegetación	Si	Bajo	-
	Sucesión ecológica	Si	Bajo	-
	Productividad primaria	Capacitación	Alto	No existen capacidades instaladas
	Calidad del suelo	Capacitación	Medio	Alto interés de la comunidad por aplicar este indicador. Falta reforzar la comprensión del indicador.
	Ciclo de nutrientes	Capacitación	Alto	Importante falta de recursos económicos y capacidades técnicas
	Hidrología (Cantidad, Calidad y Disponibilidad de agua)	Si	Bajo	Falta reforzar la comprensión del indicador. Falta implementar en el modelo de seguimiento.
	Interacciones bióticas	Si	Bajo	Aplicable desde la observación en terreno. Falta reforzar la comprensión del indicador
	Estado fitosanitario	Si	Bajo	Falta reforzar la comprensión del indicador
	Regeneración natural	Si	Bajo	-
	Amenazas	Si	Bajo	-
Sobrevivencia	Si	Bajo	En ejecución	

En el ámbito ecológico, se destacaron como indicadores con alta pertinencia social y bajas limitaciones: Diversidad de especies, Estructura de la vegetación, Estado fitosanitario y Regeneración natural, todos ellos considerados técnicamente factibles de medir en terreno mediante la implementación de una capacitación comunitaria. En cambio, otros indicadores, tales como Productividad primaria, Calidad del suelo y Ciclo de nutriente, presentaron importantes limitaciones debido a la necesidad de análisis especializados, instrumentos de laboratorio y procesamiento de datos por parte de terceros. Si bien, estos indicadores fueron reconocidos como técnicamente relevantes, actualmente están fuera del alcance de un monitoreo participativo de aplicabilidad inmediata.

**Cuadro 8.** Evaluación comunitaria de la lista preliminar de indicadores ecológicos y sociales según niveles de pertinencia social y criterios limitantes. Incluye observaciones de quienes participaron.

Tipo de Indicador	Indicador	Pertinencia Social	Criterios limitantes	Observaciones
Social	Participación comunitaria	Si	Bajo	Necesidad de implementación
	Capacitación local	Si	Medio	Es una necesidad social.
	Bienestar social	Si	Medio	Acceso limitado a la información requerida
	Aceptación social	Si	Bajo	Acceso limitado a la información requerida
	Beneficios sociales	Si	Bajo	-
	Desarrollo de políticas locales	Si	Bajo	Se ejecuta, pero faltan recursos
	Conectividad social externa	Si	Bajo	-

Por su parte, en la categoría social, la mayoría de los indicadores fueron valorados con una alta pertinencia y bajas limitaciones, entre los cuales se encuentran Participación comunitaria, Capacitación local, Beneficios sociales y Desarrollo de políticas locales, los cuales reflejan aspectos clave del involucramiento comunitario en el proceso restaurativo. Así mismo, se reconoció que ciertos indicadores como “Bienestar social” y “Aceptación social” requieren datos socioeconómicos externos, lo que eleva su nivel de limitación a pesar de su relevancia percibida.

### 3.2.2. Selección final de indicadores para el monitoreo participativo

Como resultado del proceso de evaluación participativa, se logró definir la lista final de indicadores para mejorar el sistema de monitoreo participativo del PRBD. La lista final resultó estar compuesta por 20 indicadores, los cuales cubren dimensiones ecológicas y sociales clave para el seguimiento del proceso de restauración (cuadro 9). Para cada indicador, se realizó una revisión bibliográfica, para así generar una propuesta metodológica para su medición. El detalle metodológico completo de cada indicador (incluyendo fórmulas, valores de referencia, criterios de clasificación y justificaciones técnicas) se presenta en el Anexo 2.

**Cuadro 9.** Lista final de indicadores seleccionados para el monitoreo participativo del Proceso de Recuperación de microcuencas prediales

Indicadores Ecológicos	Indicadores Sociales
Área en restauración	Estado del cerco
Diversidad de especies	Ausencia de ganado
Estratos	Participación comunitaria
Avance estructural	Capacitación local
Regeneración natural nativa	Aceptación social
Sobrevivencia	Beneficios sociales
Estado fitosanitario	Desarrollo de políticas locales
Dispersores de semillas	Conectividad social externa
Calidad de agua	Cantidad de agua
Ausencia de invasoras	Disponibilidad de agua

Durante este proceso, dos indicadores que formaban parte de la lista preliminar fueron finalmente excluidos del sistema de monitoreo:

- a) **Calidad del suelo:** Si bien este indicador fue valorado con un alto nivel de interés por parte de las y los participantes, especialmente por su potencial para evidenciar procesos de recuperación edáfica y su vinculación con la regeneración vegetal, su implementación requiere equipos específicos y análisis de laboratorio (como determinación de pH, contenido de materia orgánica y capacidad de retención de agua) que actualmente no se encuentran disponibles en el contexto del CAPR Mashue. Dado que no existen alianzas vigentes con instituciones que puedan asumir esa medición y considerando las limitaciones presupuestarias del proyecto, se optó por no incluirlo dentro del sistema de monitoreo comunitario, al menos en esta primera fase.
- b) **Sucesión ecológica:** Este indicador fue excluido tras una revisión metodológica, dado que su evaluación se basa en la integración de variables que ya están contempladas en otros indicadores seleccionados, tales como estructura de la vegetación, regeneración natural, diversidad de especies y complejidad estructural. Dado que la sucesión es un proceso inferido a partir de estos atributos, se consideró redundante incluir un indicador adicional específico para esta dimensión.

### 3.3. Resultados del análisis de vacíos en la base de datos del APR Mashue

Con la lista final de indicadores seleccionados, y a través del análisis de vacíos aplicado sobre la base de datos del APR Mashue, fue posible identificar el nivel de cobertura informativa de cada uno de ellos. Los resultados de esta evaluación permiten visualizar qué indicadores ya cuentan con información

suficiente, cuáles están parcialmente representados y cuáles no cuentan con la información disponible para ser incluidos como parte del MP (cuadro 10).

**Cuadro 10.** Evaluación de la representatividad de los indicadores seleccionados en la base de datos del APR Mashue.

Indicador	Información necesaria	Información disponible	Presencia en la base de datos
Área en restauración	Superficie plantada (n° de ha)	Hectáreas plantadas anualmente	Presente
Diversidad de especies	Número de individuos por especie	Número de individuos por especie	Presente
Composición de especies	Número de especies	Número de especies	Presente
	Porcentaje de especies nativas vs exóticas	Número de especies	Insuficiente
Estructura de la vegetación	Altura por individuo plantado	Altura	Presente
	Estratos (Diversidad de formas de crecimiento presentes)	No disponible	Ausente
	DAC por individuo	DAC	Presente
	N° de individuos por área	Individuos/Área	Presente
Recurso hídrico	Cantidad de agua	Disponible	Presente*
	Disponibilidad de agua	Disponible	Presente*
	Calidad de agua	Disponible	Presente*
Estado fitosanitario	Estado fitosanitario por individuo	No disponible	Ausente
Regeneración natural	Número de individuos	No disponible	Ausente
	Número de especies	No disponible	Ausente
Ausencia de amenazas	Presencia de especies invasoras	No disponible	Ausente
	Presencia de ganado	No disponible	Ausente
	Estado del cerco	Parcialmente disponible; Falta continuidad	Presente
Sobrevivencia	Número de individuos vivos	Número de individuos vivos	Presente
Participación comunitaria	N° de socios que participan en actividades respecto al PRBD	Número de socios del APR	Insuficiente
Capacitación local	N° de socios que se han capacitado para el monitoreo al PRBD	No disponible	Ausente
Aceptación social	N° de personas de la comunidad que participan en actividades en torno al PRBD	Número de socios participantes de las plantaciones	Insuficiente
Beneficios sociales	N° de oportunidades laborales creadas a partir del PRBD	No disponible	Ausente
Desarrollo de políticas locales	N° de convenios establecidos anualmente; % de cumplimiento de los convenios	Número de socios participantes de la plantación	Insuficiente
Conectividad social externa	N° de actividades con organismos externos; N° de organizaciones vinculadas	No disponible	Ausente

Los resultados evidencian que ocho de los veinte indicadores ya cuentan con información registrada de manera completa o suficiente para su cálculo. Estos corresponden a: Altura, DAC, Supervivencia, Diversidad de especies Superficie plantada, Número de especies, Número de individuos por área, así como los tres indicadores asociados al Recurso hídrico: Cantidad de agua, Disponibilidad

de agua y Calidad de agua. Estos últimos fueron marcados como “Presente\*” al tratarse de datos que provienen de otras fuentes institucionales asociadas al funcionamiento del APR y no necesariamente forman parte del monitoreo del PRBD. En el caso del Estado del cerco, también se registró información como presente, sin embargo, hace falta continuidad en su medición para una correcta implementación en el sistema de MP.

En contraste, para los once indicadores restantes, la información necesaria es parcial, insuficiente o inexistente. Algunos indicadores, como Aceptación social, Participación comunitaria o Desarrollo de políticas locales presentan registros parciales que no permiten una estimación completa del indicador. Otros, como Estado fitosanitario, Regeneración natural de especies nativas, Composición de especies, Ausencia de ganado, Ausencia de invasoras, Conectividad social externa, Beneficios sociales y Capacitación local, carecen completamente de los datos requeridos para su evaluación.

De este modo, el análisis permitió clasificar los 20 indicadores seleccionados según su nivel de representación en la base de datos. Se observa que el 43,5 % de los indicadores presentan información suficiente en la base de datos del APR Mashue, mientras que un 39,1 % se encuentra completamente ausente y un 17,4 % está representado de forma parcial (figura 7). Esta sistematización no solo evidenció los avances ya existentes en cuanto al monitoreo del PRBD, sino que también permitió identificar qué información aún no está siendo considerada en el monitoreo, en función de los indicadores seleccionados.

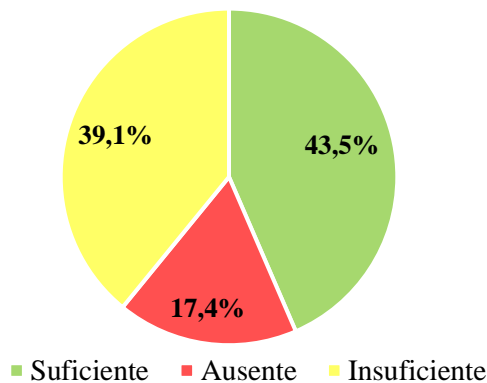


Figura 7. Cobertura de información por indicador en el sistema actual de monitoreo según los requerimientos de los indicadores seleccionados

### 3.4 Diseño del sistema de monitoreo participativo para el PRBD en Mashue

Como resultado del proceso iterativo de análisis, validación y ajustes metodológicos, se diseñó un sistema de monitoreo participativo adaptado al contexto ecológico y social del APR Mashue.

Este sistema se construyó a partir de lista de 20 indicadores ecológicos y sociales seleccionados, los cuales fueron asociados su atributo clave, la información requerida o variables específicas para su cálculo y sus cuantificadores e índices que permiten su seguimiento en el tiempo.

Los indicadores fueron organizados en función de tres atributos clave: (1) Composición y estructura de la vegetación, (2) Salud ecosistémica y (3) Ausencia de amenazas (cuadro 11). Para cada indicador se presentan las variables requeridas para su medición en terreno y el cuantificador correspondiente, el cual estandariza su evaluación y facilita su interpretación. El conjunto de estos indicadores permite monitorear tanto el desempeño estructural como funcional del sistema restaurativo impulsado por el PRBD.

**Cuadro 11.** Indicadores definidos para el sistema de monitoreo participativo del PRBD en Mashue, según atributo, información requerida y cuantificador.

Atributo clave	Indicadores	Información requerida	Cuantificador
Composición y estructura de la vegetación	Diversidad de especies	Número de individuos por especies (Plantados y Regeneración)	Índice de Shannon
	Estratos	Diversidad de formas de crecimiento	Número y combinación de las formas de crecimiento presentes
	Avance estructural	Altura y DAC	Amplitud conjunta
	Regeneración natural nativa	Especies regenerando naturalmente	Número de especies por tolerancia a la sombra
	Sobrevivencia	Número de individuos plantados vivos/Número de individuos plantados	% de Supervivencia acumulada
Salud ecosistémica	Estado fitosanitario	Tipo de daño por individuo	Proporción de individuos sin síntomas visibles
	Dispersores de semillas	Número de especies de avifauna con potencial de dispersión que visitan la plantación	índice de similitud de Sørensen
Ausencia de amenazas	Control de invasoras	Cobertura de especies invasoras	% de la parcela con especies invasoras

Los 12 indicadores sociales seleccionados que se integran como parte de la RRSE, se organizaron en cuatro atributos clave: (1) Estado del recurso hídrico, (2) Ausencia de amenazas, (3) Gestión y

gobernanza, y (4) Área en restauración (cuadro 12). Se detalla la información requerida para su cálculo y el cuantificador correspondiente en cada caso, permitiendo una evaluación estandarizada del componente social del proceso de restauración.

**Cuadro 12.** Indicadores definidos para el sistema de monitoreo participativo del PRBD en Mashue, según atributo, información requerida y cuantificador.

<b>Atributo clave</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Información requerida</b>	<b>Cuantificador</b>
Estado del recurso hídrico	Calidad de agua	Informes mensuales de calidad de agua, registros del APR	% promedio anual de cumplimiento normativo
	Cantidad de agua	Registros del APR (L/s/persona)	grados de suficiencia hídrica en función del caudal disponible por persona.
	Disponibilidad de agua	Nº de personas beneficiadas por el APR	% de cobertura poblacional abastecida
Ausencia de amenazas	Estado del cerco	Tipos de daños en el cerco	Estado general y cantidad de tipos de daño
	Ausencia de ganado	Registro de indicios de presencia de ganado: Presencia, Huellas y/o heces	% de parcelas sin evidencia de ingreso de ganado
Gestión y gobernanza	Participación comunitaria	Nº de socios que participan en actividades respecto al PRBD	Índice de Participación Comunitaria (IPC)
	Capacitación local	Nº de socios que se han capacitado para el monitoreo al PRBD	% de socios/as capacitados
	Aceptación social	Nº de personas de la comunidad que participan en actividades en torno al PRBD	% de participación social, en relación al total de la comunidad de Mashue
	Beneficios sociales	Nº de oportunidades laborales creadas a partir del PRBD	% de socios beneficiados con empleo derivado del PRBD
	Desarrollo de políticas locales	Nº de convenios establecidos anualmente; % de cumplimiento de los convenios	% de cumplimiento de convenios establecidos
	Conektividad social externa	Nº de actividades con organismos externos; Nº de organizaciones vinculadas	Índice de Conektividad Social Institucional
Área en restauración	Área en restauración	Número de hectáreas en restauración	% de aproximación a la meta establecida

### 3.4.1. Ajustes al modelo actual, Protocolos de medición y Decisiones metodológicas

El diseño del sistema de MP incluyó ajustes concretos a los protocolos de medición en terreno, derivados del análisis de vacíos, los problemas de registro detectados y la revisión de prácticas existentes.

**Cuadro 13.** Transición del modelo actual al sistema de monitoreo participativo propuesto para el PRBD en Mashue.

Aspecto del modelo actual		Ajuste realizado		Elemento del sistema de monitoreo participativo resultante
Recopilación y sistematización de datos con problemas	➡	Creación de base estructurada en Excel, con variables estandarizadas y verificación de consistencia	➡	Base de datos centralizada con variables clave por indicador
Registro de las variables: Altura, DAC y Prendimiento	➡	Revisión e integración de los 20 indicadores seleccionados de forma consensuada	➡	Lista consolidada de indicadores ecológicos y sociales para el monitoreo
Frecuencia de monitoreo no establecida	➡	Establecimiento de frecuencia mínima anual para cada parcela	➡	Calendario mínimo de monitoreo definido (una vez al año). Entre marzo y abril.
Parcelas circulares permanentes de 500m <sup>2</sup>	➡	Mantenimiento de parcelas circulares permanentes de 500 m <sup>2</sup> con registro georreferenciado	➡	Parcelas permanentes circulares, con método estandarizado de instalación y monitoreo
Falta de seguimiento individual de árboles	➡	Incorporación del uso de planillas con ID por individuo plantado en cada parcela. Etiquetas de ID por individuo plantado.	➡	Sistema de identificación individual para cada árbol monitoreado
Ausencia de indicadores sociales	➡	Selección e incorporación de 9 indicadores sociales adaptados al contexto local	➡	Monitoreo social integrado al sistema, con variables adaptadas a las capacidades del CAPR y socios de este
Falta de registro previo a la plantación	➡	Incorporación de variables contextuales como método de plantación, historial de uso y cobertura vegetal contextual	➡	Registro de condiciones iniciales del sitio para establecer línea base
No se diferenciaban los replantes	➡	Planilla incluye casilla de registro de individuos replantados, con año de replante señalado	➡	Distinción entre árboles originales y replantados en los análisis
Observaciones como presencia de invasoras, Daños al cerco y evidencias de ganado	➡	Incorporación del registro de estas variables al sistema de monitoreo como identificación de amenazas.	➡	VARIABLES INCLUIDAS DENTRO DEL ATRIBUTO "Ausencia de amenazas"
Monitoreo efectuado exclusivamente por el equipo técnico a cargo	➡	Incorporación de un enfoque participativo mediante talleres, capacitaciones y diseño colaborativo del sistema de monitoreo	➡	Propuesta de sistema participativo, diseñado para ser implementado por la comunidad, con énfasis en formación, apropiación local y sostenibilidad operativa

Se obtuvo una comparación entre el modelo anterior y el resultante de los ajustes realizados (cuadro 13). Esta visión comparativa permite visualizar el proceso de transformación metodológica que dio origen al nuevo sistema de MP. En total, se identificaron y reorganizaron diez aspectos clave del modelo anterior que requerían modificaciones para adecuarse a las necesidades del monitoreo participativo. Entre los ajustes realizados se incluye la creación de una base de datos estructurada en Excel, la incorporación de variables sociales y ecológicas no consideradas previamente, el establecimiento de una frecuencia mínima de monitoreo anual, la individualización de los árboles mediante codificación, y el diseño de planillas adaptadas al contexto comunitario.

Asimismo, se mantuvieron elementos del sistema anterior, como las parcelas circulares permanentes de 500 m<sup>2</sup>, integrándolos al nuevo diseño mediante ajustes como su georreferenciación y estandarización del protocolo de instalación. La justificación metodológica de mantener estas unidades de monitoreo se debe a:

- a) Mantenimiento de parcelas permanentes circulares de 500 m<sup>2</sup>: se justifica debido a su adecuación a la escala del PRBD (una plantación por socio), su eficacia para el seguimiento temporal y su validación operativa por parte del equipo del APR Mashue. Esta metodología ya era conocida y apropiada para los socios, lo que permite aprovechar aprendizajes previos sin introducir complejidades innecesarias. Su forma circular facilita el trazado mediante herramientas artesanales construidas por la comunidad (eje central y cuerdas radiales de 12,6 m), optimiza el recorrido durante las mediciones y mejora la cobertura espacial. Además, representa una alternativa realista frente a la limitada disponibilidad de personal, ya que ampliar el número de parcelas por plantación sería inviable en el corto plazo.

Además de estos ajustes al modelo actual se incluyeron:

- a) Incorporación del método de plantación como variable registrada en terreno, permitiendo su posterior análisis como factor explicativo del éxito de establecimiento.
- b) Registro de observación sobre cobertura vegetal: Sin constituir un indicador per se, se integró una casilla de observación para anotar si el individuo se encuentra cubierto por vegetación. Esta información permite comprender mejor las condiciones de micrositio asociadas al buen rendimiento de determinadas especies, sin implicar un juicio de valor directo.
- c) Implementación comunitaria: El sistema fue diseñado específicamente para ser implementado por el equipo del APR Mashue en conjunto con socios y socias interesados en capacitarse para monitorear sus propias plantaciones. Esto responde a un enfoque participativo que busca fortalecer las capacidades locales y generar apropiación del proceso restaurativo. A través de instancias de formación técnica, acompañamiento en terreno y entrega de materiales de apoyo, se espera que el sistema funcione como una herramienta comunitaria sostenida en el tiempo.

En cuanto a el modelo original, los ajustes y el modelo obtenido, se observa que un 62 % del sistema corresponde a ajustes realizados sobre elementos existentes, como la mejora de protocolos, estandarización de registros y definición de frecuencia de monitoreo (figura 8). Un 15 % corresponde a

elementos mantenidos sin modificaciones, como las parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup> ya comprendidas por la comunidad (Figura 8). Finalmente, un 23 % corresponde a nuevas incorporaciones metodológicas, tales como indicadores sociales, variables contextuales y mecanismos de implementación comunitaria (figura 8).

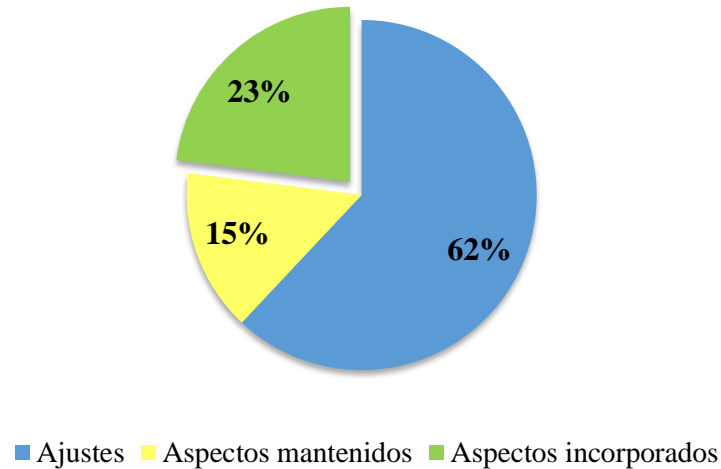


Figura 8. Composición del sistema de monitoreo participativo diseñado para el PRBD en Mashue.

### 3.4.2. Construcción de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) y Rueda de Recuperación Socioecológica (RRSE)

Para la construcción de los niveles de la RRE y RRSE, se utilizaron como niveles los valores medidos para el ecosistema de referencia (Anexo 3). Dichos valores permitieron generar rangos para cada uno de los niveles de la rueda (Anexo 2).

A continuación, se presentan las versiones finales de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) y la Rueda de Recuperación Socioecológica (RRSE), que integran gráficamente los indicadores definidos y representan el diseño completo del sistema de monitoreo participativo desarrollado.

La RRE representa estado ecológico del proceso de restauración de cada sitio, a partir de ocho indicadores organizados en atributos funcionales (figura 9). Esta corresponde a la herramienta por la cual se traducirá la información recopilada en cada parcela de monitoreo permanente.

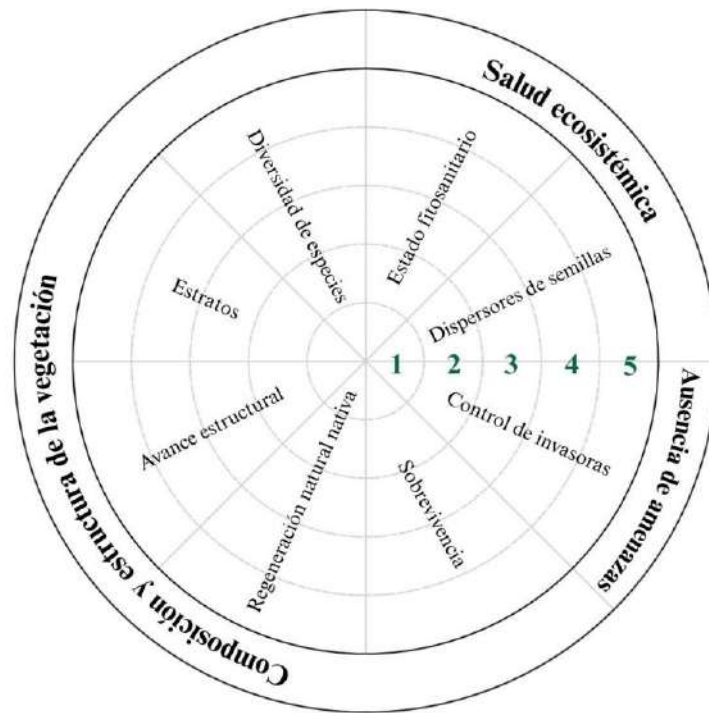


Figura 9. Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) construida para el PRBD en Mashue. Elaboración propia en base al modelo establecido por Gann *et al.* (2019)

La integración de los doce indicadores sociales de la RRSE resultó del proceso de agrupar los indicadores en áreas clave como gobernanza, apoyo comunitario y estado del recurso hídrico, diseñada como herramienta de resumen gráfico del estado general del PRBD (figura 10).

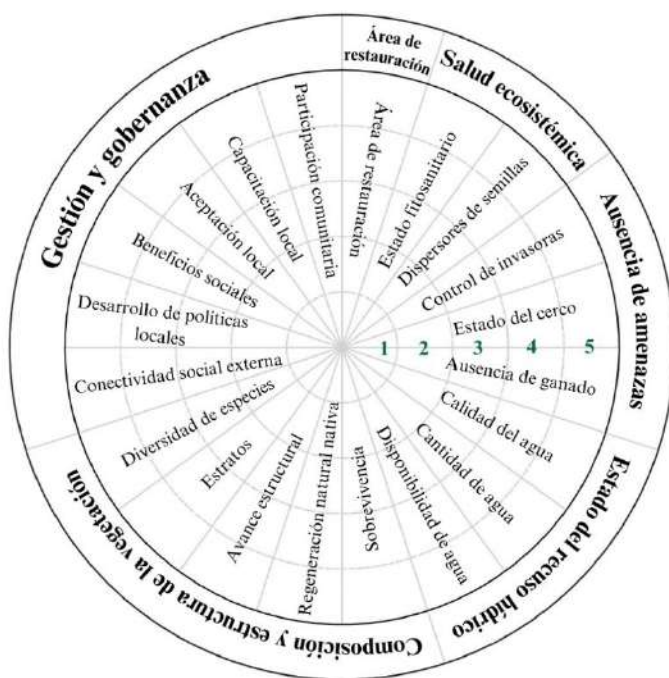


Figura 10. Rueda de Recuperación Socioecológica (RRSE) construida para el PRBD en Mashue.  
Elaboración propia en base al modelo establecido por Gann *et al.* (2019)

### 3.5. Diseño final del sistema de monitoreo participativo

El diseño final integra dimensiones ecológicas y sociales a través de las dos herramientas construidas: la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE) y la Rueda de Recuperación Socio-ecológica (RRSE) (figura 7 y 8). Cada rueda organiza los indicadores en atributos clave y se divide en niveles ordinales del 1 al 5 que permiten visualizar de forma integrada el avance del proceso de recuperación.

Este diseño no solo entrega una visualización general y resumen del estado de recuperación en que se encuentra cada sitio y el PRBD a nivel general, sino que establece protocolos claros de medición, recolección y comunicación de los datos, lo cual garantiza su replicabilidad, seguimiento y viabilidad futura (Anexo 10). Dentro de los protocolos, se definió la unidad de monitoreo de 500 m<sup>2</sup>, la estación de monitoreo entre los meses de marzo y abril, los materiales de monitoreo, los métodos de recolección de datos por indicador, así como una proyección y actualización del sistema (Anexo 10).

### 3.6. Evaluación del impacto formativo de las capacitaciones

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a través del análisis de las encuestas realizadas para medir el impacto de las capacitaciones, según las respuestas obtenidas antes y después de las capacitaciones (Anexo 5, cuadro 14). En todos los casos se observa un aumento en los promedios post capacitación. En la Sección 1, el promedio de respuestas aumentó de 3.59 ( $\pm 1,26$ ) a 4.62 ( $\pm 0.63$ ). En la Sección 2, el promedio pasó de 3.45 ( $\pm 1.11$ ) a 4.78 ( $\pm 0.45$ ), y en la Sección 3 de 3.27 ( $\pm 1.16$ ) a 4.75 ( $\pm 0.51$ ).

**Cuadro 14.** Estadística descriptiva por sección de las respuestas de las encuestas, antes y después de las capacitaciones.

Momento	Sección	N	Media	Mediana	SE	Q1	Q3
Pre	1	100	3,59	4	1,26	3	5
	2	60	3,45	4	1,11	3	4
	3	130	3,27	3	1,16	3	4
Post	1	100	4,62	5	0,63	4	5
	2	60	4,78	5	0,45	5	5
	3	130	4,75	5	0,51	5	5

Además, en cada sección se observa un desplazamiento de la mediana hacia valores superiores en el momento Post, con una reducción general de la dispersión en las respuestas post capacitación (figura 11).

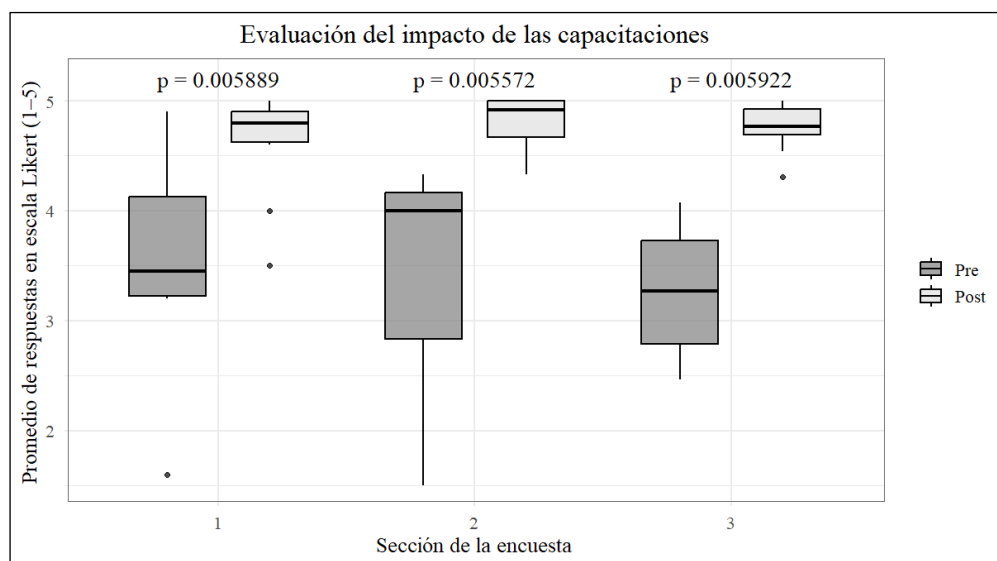


Figura 11. Distribución de los promedios de respuestas por sección antes y después de las capacitaciones sobre monitoreo participativo.

En las tres secciones, los valores posteriores se agrupan en rangos más altos de la escala Likert, y el rango intercuartílico (Q1-Q3) se estrecha, especialmente en la Sección 1.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron construir una propuesta metodológica adaptada al contexto local y basada en principios técnicos replicables para el sistema de MP del PRBD en Mashue. A partir de la etapa de diagnóstico, se identificaron los factores clave que debilitaban la capacidad evaluativa del sistema de monitoreo anterior, tales como la limitada continuidad y sistematización de la información, una baja integración de dimensiones sociales y la falta de condiciones mínimas, tanto de equipos de medición como de personal, para sostener un seguimiento continuo y comprensible a lo largo del tiempo. Estas limitaciones, propias de diversos contextos rurales, dificultaban no solo la recolección de información útil, sino también su interpretación colectiva y su uso como insumo para la toma de decisiones. La combinación entre la experiencia aplicada y el análisis diagnóstico generó una base empírica clave, que sustentó las decisiones tomadas para estructurar de manera metodológica y operativa

el rediseño del sistema. Posteriormente, mediante el proceso de selección y adaptación participativa, se logró definir una lista consensuada de 20 indicadores ecológicos y sociales, agrupados en atributos clave y normalizados mediante cuantificadores e índices específicos. Esta etapa metodológica permitió integrar enfoques técnicos y saberes locales a través de talleres comunitarios, los cuales fueron consolidados a través de la construcción de las herramientas visuales para el monitoreo: la Rueda de Recuperación Ecológica y la Rueda de Recuperación Socio-ecológica. Finalmente, mediante la realización de instancias formativas con los/as socios/as del APR Mashue y la entrega del material de apoyo elaborado, se avanzó en el fortalecimiento de las capacidades locales para una posterior aplicación del sistema de monitoreo diseñado, sentando de esta forma las bases para una implementación progresiva y autónoma por parte de la comunidad.

El diagnóstico realizado confirma las limitaciones ampliamente reportadas en la literatura sobre el monitoreo de las iniciativas de restauración a nivel comunitario, donde se identifican ciertas carencias en las capacidades técnicas de seguimiento, tales como, la sistematización, los recursos, el tiempo disponible y la continuidad operativa que implican las acciones de monitoreo de la restauración en el corto, mediano y largo plazo (Evans y Guariguata 2016, Galindo *et al.* 2021, Wortley *et al.* 2013). Respecto a lo evidenciado mediante el proceso de sistematización y análisis de datos, la existencia de registros incongruentes o contradictorios entre diferentes años impide detectar patrones temporales o atribuir cambios a las acciones restaurativas implementadas. Estos problemas son consistentes con los hallazgos reportados por Wortley *et al.* (2013) y Gatica (2017), quienes señalan que la falta de estándares implementados para el monitoreo participativo dificulta tanto el aprendizaje adaptativo como la comunicación de los resultados de las acciones de restauración. Los autores coinciden en señalar que, aunque el monitoreo comunitario es una estrategia prometedora, muchas iniciativas carecen de una estructura metodológica clara, lo que limita su capacidad de retroalimentar prácticas restaurativas y asegurar la apropiación social del sistema establecido. Sin embargo, el caso de Mashue también evidencia iniciativas poco exploradas, como la existencia de registros comunitarios previos, saberes territoriales organizados en torno a la restauración de ecosistemas y una alta legitimidad del APR como ente articulador en este contexto rural. En este sentido, la metodología propuesta no parte desde cero, sino que se apoya en una base de monitoreo preexistente, sobre la cual se construyen ajustes específicos que surgen tanto de las limitaciones identificadas, como de las fortalezas organizativas, capacidades instaladas y prácticas comunitarias ya consolidadas evidenciadas durante el diagnóstico. Esta estrategia está alineada con lo planteado por Gann *et al.* (2019), quienes proponen la adaptación de los estándares técnicos del monitoreo ecológico al contexto local, reforzando las capacidades y reconociendo el rol de

las comunidades como actores claves en los procesos de restauración. De esta forma, la metodología de diagnóstico implementada sirvió para establecer las bases que permitirán la gestión adaptativa del proceso restaurativo del PRBD.

Basado en estos mismos principios, los indicadores para monitorear procesos de restauración deben ser aplicables al contexto local, comprensibles por la comunidad y comparables a lo largo del tiempo (Gann *et al.* 2019). La metodología utilizada para seleccionar y adaptar indicadores, definir niveles y umbrales, con sus escalas ordinales y porcentajes de aproximación; y para algunos utilizando un ecosistema de referencia; permitió resolver el desafío de combinar la validez técnica con accesibilidad participativa, aspecto considerado clave en contextos rurales con capacidades limitadas (Evans y Guariguata 2016, Gann *et al.* 2019). Además, la validación comunitaria de estos indicadores, tanto en su pertinencia y criterios limitantes como en su comprensión, aporta un valor agregado no siempre considerado en sistemas de monitoreo convencionales. Esta combinación de criterios técnicos y sociales permitió seleccionar finalmente 20 indicadores que cumplen la función de reflejar no solo atributos ecológicos clave, sino también dimensiones sociales como la participación, gobernanza y percepción comunitaria, las cuales son fundamentales en procesos de restauración socio-ecológica (Aronson *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2015, Gann *et al.* 2019). Una decisión relevante que surgió del enfoque metodológico aplicado fue la construcción de dos ruedas complementarias, la RRE, adaptada para ser aplicada a nivel predial y la RRSE, adaptada para aplicarse a nivel del APR, lo cual permitirá representar los avances individuales y colectivos del PRBD de manera simultánea. Por su parte, estructurar los indicadores en niveles ordinales y utilizar porcentajes de aproximación respecto a un ecosistema de referencia facilitó la traducción de variables complejas a formatos accesibles para su implementación local, tal como plantean los lineamientos de la SER para la construcción de estas herramientas (Gann *et al.* 2019).

A diferencia de otras experiencias donde las ruedas han sido aplicadas como herramientas técnicas diseñadas por expertos, sin participación comunitaria (McDonald y Dixon 2018, Cleland *et al.* 2020, Munsamy *et al.* 2021); en la presente tesina se optó por un enfoque participativo y novedoso, en el cual las ruedas fueron co-construidas junto a la comunidad, integrando saberes locales en la selección de indicadores y de protocolos. Aunque existen antecedentes de adaptación metodológica, como la Kahikatea Forest Green Wheel en Nueva Zelanda, su aplicación se mantuvo bajo un enfoque técnico, centrado en un nivel avanzado en cuanto a detalle y especialización (Denyer y Deng, 2019). De manera similar, la propuesta de Koda *et al.* (en preparación, 2025) creada para ser utilizada por CONAF Los Ríos, fue diseñada para una escala regional y dirigida a actores con formación científico-técnica y acceso

a recursos institucionales. Por lo tanto, el trabajo de la presente tesina presenta la novedad de ser construido para la aplicación de personas sin un conocimiento técnico acabado.

Esta doble innovación (participativa y multiescalar) no solo adaptó técnicamente la herramienta, sino que la resignifica como instrumento de gestión compartida y corresponsabilidad comunitaria. Su valor radica en abordar una escala en donde la sostenibilidad no depende de estándares nacionales ni de formación científica, sino de la autonomía local, la simplicidad operativa y el fortalecimiento de capacidades comunitarias.

En esta misma línea, una de las decisiones metodológicas más complejas fue utilizar una plantación nativa de 13 años como ecosistema de referencia, dada la ausencia de relictos nativos representativos en Mashue. Esta alternativa permitió construir una referencia contextualizada, viable y alineada con lo planteado por Chazdon (2008), quien destaca la importancia de utilizar bosques secundarios avanzados o sistemas funcionalmente maduros como modelos de referencia cuando los ecosistemas primarios han sido severamente alterados o ya no existen. En ese sentido, si bien la plantación de Mashue no representa un ecosistema maduro en términos absolutos, sí cumple un rol fundamental como referente para procesos de restauración en paisajes transformados. Por lo tanto, el proceso de seleccionar, adaptar y priorizar participativamente los indicadores, para así adaptar y construir las ruedas como herramientas de monitoreo participativo, no solo se reflejó en la construcción de un sistema adecuado al contexto técnico y operativo, sino también en su apropiación social, lo cual lo transforma en una condición de suma importancia para su implementación futura. Desde esta perspectiva, el monitoreo participativo trasciende la mera recolección de datos, ya que implica la construcción conjunta de aprendizajes que fortalecen la capacidad adaptativa de las comunidades, aspectos propios de la co-producción de conocimiento. En este sentido, el desarrollo puede entenderse como un proceso de aprendizaje social, donde “desarrollo significa, entre otras cosas, aprender a aprender” (Stiglitz y Greenwald 2017).

En cuanto al fortalecimiento de capacidades, los resultados muestran que las instancias de formación generaron un impacto positivo en los niveles de conocimiento, comprensión y autopercepción de los/as socios/as del APR Mashue respecto al monitoreo participativo. Este hallazgo coincide con estudios que reconocen el potencial del monitoreo comunitario no solo como mecanismo de recolección de datos, sino también como herramienta pedagógica y de empoderamiento local (Pretty 1995, Reed 2008, Ruíz-Mallén y Corbera 2013). La efectividad de las capacitaciones quedó evidenciada tanto en los

análisis estadísticos como en los aprendizajes prácticos adquiridos en terreno, destacando la relevancia del aprendizaje situado (Kolb 1984, Altieri 2002). No obstante, la sostenibilidad de estos aprendizajes dependerá de la continuidad de los espacios formativos, la provisión de materiales adecuados y el acompañamiento técnico en el largo plazo. En respuesta a este desafío, el diseño del sistema incluyó estrategias concretas de apropiación comunitaria, como la entrega de materiales impresos, protocolos estandarizados y carpetas individuales por predio, con el fin de reforzar la autonomía local y proyectar la continuidad del monitoreo más allá del ciclo inicial de capacitación.

A pesar del avance metodológico logrado, la propuesta de monitoreo participativo desarrollada enfrenta desafíos relevantes respecto a su futura implementación. Entre ellos, destacan la necesidad de mejorar la sistematización digital de los datos y garantizar la representatividad de las unidades de monitoreo en el largo plazo, aspectos críticos para sostener un seguimiento riguroso en el tiempo. Estas limitaciones, más que fallas, reflejan las condiciones estructurales propias de los contextos rurales, donde la rotación de liderazgos, la disponibilidad del tiempo voluntario y el acceso limitado a herramientas tecnológicas, dificultan la continuidad operativa de estos procesos (Chazdon *et al.* 2020, Evans y Guariguata 2016). Frente a este escenario, el diseño elaborado adoptó un enfoque iterativo que permitió ajustar y fortalecer el sistema en base a la experiencia comunitaria, planteando su apropiación local como un valor metodológico central. Hacia el futuro, el desarrollo de plataformas digitales accesibles, como planillas interactivas o aplicaciones móviles, surge como una línea clave de trabajo para facilitar la recolección, el análisis y la visualización de datos por parte de la comunidad. Experiencias recientes a nivel global, como las descritas por Johnson *et al.* (2021) y otras de mayor trayectoria, como las desarrolladas mediante la plataforma CyberTracker en Sudáfrica (Liebenberg *et al.* 2021), evidencian que la incorporación de material interactivo, tecnologías digitales y aplicaciones móviles puede facilitar la gestión y el registro participativo de datos, incluso en contextos con bajos niveles de alfabetización digital. Tal como advierten Berkes (2009), Conroy (2015) y Brancalion *et al.* (2020), la efectividad de los sistemas de monitoreo depende no solo de su solidez técnica, sino también de su viabilidad operativa en contextos reales. En este sentido, el sistema diseñado en Mashue constituye un insumo metodológico listo para ser puesto en marcha, con el potencial de fortalecer la defensa territorial, la transparencia organizativa y la gestión colaborativa desde lo local, pero con estándares comparables a nivel internacional (Evans y Guariguata 2016, Pocock *et al.* 2017). Así, la implementación futura del sistema no dependerá solo de recursos técnicos, sino del fortalecimiento de una gobernanza territorial que reconozca el monitoreo como una herramienta de empoderamiento local y defensa de los ecosistemas.

## 5. CONCLUSIÓN

Esta tesina permitió el diseño de un sistema de monitoreo participativo diseñado a partir de la experiencia en Mashue y adaptado al contexto en que se desarrolla el PRBD, demostrando que es posible generar herramientas metodológicas rigurosas a partir de los procesos locales, sin desatender las complejidades técnicas ni las dimensiones sociales del territorio.

Uno de los principales aportes de este trabajo fue demostrar que el diseño de un sistema de monitoreo no requiere partir de condiciones ideales, sino de una interpretación crítica y adaptativa de los recursos, capacidades y trayectorias de cada comunidad. El sistema propuesto no llega como una solución externa, sino como el resultado de una construcción colectiva que reconoce vacíos previos, valora los conocimientos locales y transforma las limitaciones operativas en oportunidades de aprendizaje e insumos para la acción.

La elección de indicadores, la creación de herramientas como la RRE y RRSE, y la definición de protocolos y niveles de evaluación, fueron posibles gracias a una metodología iterativa, en la que cada fase del proceso nutrió a la siguiente. Esta dinámica no lineal implicó revisar, corregir y adaptar constantemente las decisiones técnicas, dejando en evidencia que el monitoreo participativo es tanto un desafío técnico como un proceso formativo dentro de un contexto sociocultural.

La comunidad de Mashue no solo participó, sino que co-diseñó las soluciones desde su experiencia concreta, a través de su organización interna, la memoria territorial, el conocimiento sobre sus ecosistemas y la voluntad de mejora continua, reafirmando que los sistemas de monitoreo pueden ser instrumentos de apropiación territorial, desarrollados desde el territorio, y no solo instrumentos de medición técnica. La incorporación de dimensiones como la percepción social, la participación, la conectividad institucional o el estado del agua demuestra que el monitoreo puede y debe reflejar las prioridades del territorio que lo sustenta.

Este proceso deja como resultado un sistema diseñado, validado y preparado para su futura implementación, en base a la co-producción de conocimiento entre la academia y la comunidad. No obstante, la digitalización y sistematización tecnológica emergen como el gran desafío pendiente. Superar este obstáculo será clave para sostener en el tiempo la implementación y utilidad del sistema, y así, permitir que la comunidad gestione de forma autónoma sus procesos de evaluación y gestión adaptativa.

Además, esta tesina no propone un modelo cerrado, sino una “propuesta viva”, con potencial de desarrollo, que puede mejorar y adaptarse junto al territorio que la vio nacer. Si Mashue logró esto, fue porque hubo disposición a observar de forma crítica sus acciones, a abrir el conocimiento a otros y a entender el monitoreo no como una carga externa, sino como una herramienta comunitaria de gestión y gobernanza para avanzar en la restauración del territorio con más claridad. Este trabajo deja entonces no solo un diseño metodológico listo para ser usado, sino también una huella del poder que tiene la colaboración comunitaria cuando se convierte en método, en práctica y en horizonte.

Finalmente, se plantea la urgencia de repensar el rol de la ciencia en contextos rurales. Más que producir conocimiento científico, se hace necesario crear herramientas útiles para quienes enfrentan cotidianamente los desafíos socio-ecológicos de la restauración. En este sentido, el monitoreo participativo diseñado en Mashue representa una forma de ciencia situada, construida desde el territorio y orientada a la acción, donde el conocimiento no se impone, sino que se co-construye junto a quienes transforman su entorno día a día.

## 6. REFERENCIAS

- Aguilar-Garavito M, Murcia C, Guariguata M, Montes E, Calle Z, Cabrera M, Isaacs-Cubides PJ, Ariza A, Carvajal M, Giraldo A, Pizano C, Curiel Yuste J, González-M R, Avella AM, Díaz J, Jiménez E, Domínguez-Haydar Y, Henao N, Zabala G y Brancalion P. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. 250 p.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems y Environment* 93(1-3):1-24.
- Armesto JJ, Villagrán C, Kalin-Arroyo MT. 1996. *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Santiago, Chile, Editorial Universitaria. 399 p.
- Aronson J, Milton SJ, Blignaut JN. 2007. *Restoring natural capital: science, business, and practice*. Island Press, Washington, DC.
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting linear mixed effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1):1-48.
- Berkes F. 2009. Evolution of co-management: role of knowledge generation, bridging organizations and institutional change. *Journal of Environmental Management* 90(5):1692-1701. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.001>
- Berkes F, Colding J, Folke C. 2018. *Principles for building resilience: sustaining ecosystem services in social-ecological systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA, Mustoe SH. 2000. *Bird census techniques*. 2ª ed. Academic Press, London.
- Barichivich J, Buitano D, Muñoz F, Rivas E, y Rodríguez V. 2023. Renaturalización, una posibilidad de reencuentro con la naturaleza para conservar el agua: La propuesta del Comité de Agua Potable Rural de Mashue, Región de Los Ríos. Chile. 72 p.
- Cantú C, Hernández-García F, Ramírez-Azón R. 2011. Evaluación de herramientas de monitoreo de biodiversidad en áreas protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(2):345-357.

- Chazdon RL. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320(5882):1458-1460. <https://doi.org/10.1126/science.1155365>
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2010. Estudio agrológico X Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Santiago, Chile. 295 p.
- Cleland N, Smith J, y Brown P. 2020. Impact of weed invasion on Kahikatea forest fragments in the Waikato region and review of the ‘Green Wheel’ recovery ranking tool. *Ecological Restoration Journal*, 35(2): 123-138.
- Clewell AF, Aronson J. 2013. *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington, DC.
- Comité de Agua Potable Rural Mashue (CAPR Mashue). 2019. Programa de Recuperación de Microcuencas Prediales. Informe interno. Mashue, La Unión, Región de Los Ríos.
- CONAF. 2019. Plan de Restauración Ecológica para la Región de Los Ríos. Valdivia, Chile.
- Congreso Nacional de Chile. 2008. Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. Biblioteca del Congreso Nacional. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=274894>
- Conroy RM. 2015. What hypotheses do “nonparametric” two group tests actually test? *Stata Journal* 15(3):740-755.
- Cruz-Tagle E y Lara A. 2020. Recomendaciones a la Ley 20.283 de Bosque Nativo y Fomento Forestal y Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales. Fundación Centro de los Bosques Nativos Forecos. Informe del Proyecto Impacto de la ganadería y la tala sobre los bosques nativos de conservación y el servicio ecosistémico de calidad de agua a escala de cuencas, financiado por el Fondo de Investigación de Bosque Nativo 020/2016, de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Valdivia, Chile. 19 p.
- Dale VH, Beyeler SC. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1(1):3-10. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6)
- Danielsen F, Burgess ND y Balmford A. (2005). *Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches*. *Biodiversity and Conservation*, 14(11), 2507–2542. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-8375-0>

- Danielsen F, Burgess ND, Balmford A, Donald PF, Funder M, Jones JPG, *et al.* 2009. Local participation in natural resource monitoring: a characterization of approaches. *Conservation Biology* 23(1):31-42. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01063.x>
- Denyer, K. y Deng, Y. 2019. “Kahikatea Forest Green Wheel” - developing a tool to assess ecosystem recovery of Kahikatea remnants in the Waikato region. Waikato Regional Council Technical Report TR 2019/01: 45 p.
- Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Larigauderie A, *et al.* 2015. The IPBES conceptual framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Dirección General de Aguas (DGA). 2021. Anuario de Recursos Hídricos Región de Los Ríos 2020. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile. 131 p.
- Donoso C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina: variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Donoso P, Ramírez C. 1994. Características estructurales de bosques templados de Chile central y su importancia en la evaluación de la biodiversidad. *Revista Chilena de Historia Natural* 67(2):199-209.
- Donoso C, Donoso P. 2003. *Ecología forestal: el bosque y su medio ambiente*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Donoso C. 2006. *Autoecología de especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.
- Durbecq A, Echeverría C, Aguayo M. 2020. Valoración de bosques remanentes como ecosistemas de referencia para la restauración ecológica en el centro-sur de Chile. *Bosque* 41(1):25-36. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000100025>
- Evans K, Guariguata MR. 2016. *Participatory monitoring in tropical forest management: a review of tools, concepts and lessons learned*. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Failing L y Gregory R. 2003. Ten common mistakes in designing biodiversity indicators for forest policy. *Journal of Environmental Management* 68(2):121-132. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00014-8)

- Field A, Miles J, Field Z. 2012. *Discovering statistics using R*. Sage Publications Ltd, London.
- Galindo N, Bannister JR y Laage K. 2021. Monitoreo a corto y largo plazo en ensayos de restauración de la conífera longeva y de lento crecimiento *Pilgerodendron uviferum*. *Bosque*, 42(2), 217-229
- Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K y Dixon KW. 2019. *International principles and standards for the practice of ecological restoration*. 2ª ed, 27(S1): S1–S46. 46 p. Society for Ecological Restoration, Washington, DC.
- García LV, Martínez I, Baquero RA, Purroy FJ, y Morán J. 2010. Assessing the ecological success of restoration projects using species-area curves. *Restoration Ecology* 18(2):222-230.
- Gatica Saavedra PL 2017. *Evaluación del éxito ecológico de la restauración de ecosistemas y paisajes forestales en el centro-sur de Chile (Tesis de doctorado)*. Universidad de Concepción, Dirección de Postgrado, Facultad de Ciencias Forestales, Programa de Doctorado en Ciencias Forestales, Concepción, Chile.
- Geertz C. 1983. *La interpretación de las culturas*. Gedisa, Barcelona.
- Guijt IM. 2007. *Rethinking Monitoring for Collective Learning in Rural Resource Management*.
- Haddaway NR, Woodcock P, Macura B y Collins A. 2015. Making literature reviews more reliable through application of lessons from systematic reviews. *Conservation Biology* 29(6):1596-1605. <https://doi.org/10.1111/cobi.12541>
- Hidalgo C y Natenzon CE. (2014). Apropriación social de la ciencia: toma de decisiones y provisión de servicios climáticos a sectores sensibles al clima en el sudeste de América del Sur. *Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 9(25), 133–145. <https://doi.org/10.30827/revpaz.v12i2.10231Dialnet+5revistaredes.unq.edu.ar+5SciELO Argentina+5>
- Hobbs RJ, Higgs ES, Harris JA. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology y Evolution* 24(11):599-605. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>
- Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4(1):1-23.
- Jasanoff, S. (2004). *States of knowledge: the co-production of science and social order*. Routledge.

- Jennings MD. 2000. Gap analysis: concepts, methods, and recent results. *Landscape ecology*, 15(1), 5-20. <https://doi.org/10.1023/A:1008184408300>
- Johnson N, Druckenmiller M, Danielsen F, y Pulsifer P. (2021). The use of digital platforms for community-based monitoring. *BioScience* 71(5): 452–466. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa162>
- Karr JR y Chu EW 1999. Restoring life in running waters: better biological monitoring. Island Press, Washington, DC. 206 p.
- Kanjevac A, Drljača Z, Dukić I, Milinković M, Knežević S. 2023. Evaluation of natural regeneration potential in forests: a novel plot design approach. *Forests* 14(3):598. <https://doi.org/10.3390/f14030598>
- Kemmis S, McTaggart R, y Nixon R. 2014. The action research planner: doing critical participatory action research. Springer, Singapore.
- Kerzner, H. 2017. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. 12<sup>a</sup> ed. John Wiley y Sons, Hoboken, New Jersey. 1120 p.
- Lara A, Donoso C, y San Martín O. 2000. Alteración de bosques templados andino patagónicos en el sur de Chile: incendios, ganadería y fragmentación. *Bosque* 21(2):25-35.
- Lara A, Urrutia R, Little C, Martínez A. 2010. Servicios ecosistémicos y ley del bosque nativo: no basta con definirlos. *Bosque Nativo* 47:3-9.
- Larman C y Vodde B. 2016. Large Scale Scrum: More with LeSS. Addison Wesley Professional, Boston. 236 p.
- Lave J y Wenger E. 1991. Situated learning: legitimate peripheral participation. Cambridge University Press.
- Lavorel S, Locatelli B, Colloff MJ y Bruley E. 2020. Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190119.
- Liebenberg L, Ao A, Lombard M, Shermer M, Xhukwe U, Biesele M, Xiao D, Carruthers P, Kxao O, Hansson SO, Langwane HK, Elbroch LM, Ui N, Keeping D, Humphrey G, Newman G, G'aq'o U, Steventon J, Kashe N, Stevenson R, Benadie K, du Plessis P, Minye J, Kxunta U, Ludwig B, Daqm O, Louw M, Debe D y Voysey M. 2021. Tracking Science: An alternative for those excluded by

citizen science. *Citizen Science: Theory and Practice*, 6(1), 6, 1-16.  
<https://doi.org/10.5334/cstp.284>

Little C, Lara A, y McPhee J. 2009. Hydrological impacts of forest plantations in subtropical Andean catchments. *Forests* 1(1):1-20. <https://doi.org/10.3390/f1010001>

Luebert, F. y Pliscoff, P. 2017. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2.<sup>a</sup> ed. Santiago, Chile, Editorial Universitaria. 384 p.

Luke SG. 2017. Evaluating significance in linear mixed-effects models in R. *Behavior Research Methods* 49:1494-1502.

Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC. 155 p.

Miller JR y Hobbs RJ. 2007. Habitat restoration - do we know what we're doing? *Restoration Ecology* 15(3):382-390. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00234.x>

Ministerio de Agricultura, CONAF y Ministerio del Medio Ambiente. 2021. *Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030*. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2015. Norma chilena NCh 691: Diseño y cálculo de sistemas de agua potable rural. Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Santiago, Chile.

Ministerio del medio Ambiente. 2020. *Registro Nacional de Restauración Ecológica y Acciones de Recuperación*. Santiago, Chile. Consultado 30 jul. 2020. Disponible en: <https://restauracionecologica.mma.gob.cl/>.

Munsamy R, Douwes E, Winn R, Khumalo N, Whitley A, y Brocklehurst Z. 2021. Evaluating the success of an ecosystem restoration project in South Africa. *African Journal of Ecological Restoration*, 15(1): 45-59.

Muñoz Rojas M. 2018. Soil quality indicators: a critical tool in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science y Health* 5:47-52. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>

McDonald T, Gann GD, Jonson J y Dixon KW. 2016. *International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration, Washington, DC. 48 p.

- McDonald T y Dixon KW 2018. National standards: Reasserting the ecological restoration framework in uncertain times. *Ecological Management y Restoration*, 19(3): 149-157. <https://doi.org/10.1111/emr.12317>
- Navarro E, Donoso PJ, Muñoz F, Bonacic C, Rodríguez R. 2024. Manual de sistemas silviculturales ecológicos en plantaciones de coihue y raulí. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Niemeijer D y de Groot RS. 2008. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators* 8(1):14-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.012>
- Norström AV, Cvitanovic C, Löf MF, West S, Wyborn C, Balvanera P, Bednarek AT, Bennett EM, Biggs R, de Bremond A, Campbell BM, Canadell JG, Carpenter SR, Folke C, Fulton EA, Gaffney O, Gelcich S, Jouffray JB, Leach M, Le Tissier M, Martín-López B, Louder E, Loutre MF, Meadow AM, Nagendra H, Payne D, Peterson GD, Reyers B, Scholes R, Ifejika Speranza C, Spierenburg M, Stafford-Smith M, Tengö M, van der Hel S, van Putten I y Österblom H. 2020. Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature sustainability*, 3(3), 182-190p. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2>
- Pereira HM, Leadley SM, Proença V, Alkemade R, Scharlemann JC, Fernandez-Manjarrés JF, *et al.* 2013. Essential biodiversity variables. *Science* 339(6117):277-278.
- Pretzsch H. 2009. Forest dynamics, growth, and yield: from measurement to model. Springer-Verlag, Berlin.
- Pretty J. 1995. Participatory learning for sustainable agriculture. *World Development* 23(8):1247-1263.
- Pullin AS, y Stewart GB. 2006. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology* 20(6):1647-1656. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00485.x>
- PMI (Project Management Institute). 2017. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). 6ª ed. Project Management Institute, Pennsylvania. 756 p.
- R Core Team. 2025. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.r-project.org/>.

- Reed MS, Fraser EDG y Dougill AJ. 2008. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics* 59(4):406-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.008>
- Rey Benayas JM, Newton AC, Díaz A y Bullock JM. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325(5944):1121-1124. <https://doi.org/10.1126/science.1172460>
- Royce WW. 1998. Managing the development of large software systems: concepts and techniques. In: *Proceedings of IEEE WESCON*. Los Angeles. p. 328-337.
- Ruiz Jaen MC y Aide TM. 2005. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology* 13(3):569-577. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00072.x>
- SER (Society for Ecological Restoration). 2004. *The SER international primer on ecological restoration*. SER International Science y Policy Working Group, Tucson, Arizona.
- Stiglitz J y Greenwald B. 2017. *La creación de una sociedad aprendiente. Una nueva aproximación al crecimiento, el desarrollo y el progreso social*. Crítica, Barcelona. 512 p.
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter* 5(4): 1-34.
- Suárez-Castro AF, Beyer HL, Kuempel CD, Linke S, Borrelli P, y Hoegh-Guldberg O. 2021. Global forest restoration opportunities to foster coral reef conservation. *Global Change Biology* 27:1-15. <https://doi.org/10.1111/gcb.15811>
- Suding KN, Gross KL y Houseman GR. 2015. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology y Evolution* 30(1):25-31.
- Sutherland WJ. 2006. *Ecological census techniques: a common sense approach for estimating population abundance and change*. 2ª ed., Cambridge University Press.
- Smith-Ramírez C. 2004. The Chilean coastal range: a vanishing center of biodiversity and endemism in South American temperate rainforests. *Biodiversity and Conservation* 13:373-393. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000006505.67560.9f>

- Tengö M, Hill R, Malmer P, y Rusch L. (2014). *Connecting diverse knowledge systems forenhanced ecosystem governance: The multiple evidence base approach*. *Ambio*, 43(5), 579–591. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-8>
- Toledo VM y Barrera Bassols N. 2009. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial.
- Vásquez-Grandón C, Donoso PJ y Gerding V. 2018. Restauración del bosque nativo en Chile: avances en políticas y desafíos en su implementación. *Bosque* 39(3):233-245.
- Walters CJ. 1986. Adaptive management of renewable resources. Macmillan.
- Westgate MJ, Liken GE y Lindenmayer DB. 2013. Adaptive management of biological resources: definitions, strengths, weaknesses and opportunities. *Biological Conservation* 165:98-104. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.04.012>
- Whyte WF. 1991. Participatory action research. Sage, Newbury Park, CA.
- White PS y Walker JL. 1997. Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology* 5(4):338-349. [10.1046/j.1526-100X.1997.00547.x](https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1997.00547.x)
- Wortley Hero L, JM y Howes M. 2013. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology* 21(5):537-543. <https://doi.org/10.1111/rec.12028>
- WWF Chile (2021). Guía de Monitoreo de la Restauración a Escala de Sitio. Proyecto en Nahuelbuta, Región del Biobío, Chile
- Zenner EK, Hibbs DE. 2000. A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. *Forest Ecology and Management* 129(1-3):75-87.

## 5. ANEXOS

**Anexo 1.** Diseño de muestreo y descripción de variables registradas en cada unidad de muestreo del ER.

En cada parcela de monitoreo se registraron las siguientes variables estructurales y de biodiversidad:

1. **Diámetro a la altura del pecho (DAP):** Medición del DAP por individuo utilizando huincha diamétrica, tomada a 1,3 m desde el cuello del árbol. Este dato permite caracterizar la estructura basal de la plantación.
2. **Altura del individuo:** Estimación visual utilizando vara de comparación o medición directa con hipsómetro, en caso de ser necesario. Se registró la altura total por individuo.
3. **Diversidad de formas de crecimiento:** Se evaluó la presencia de distintos estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo y arbóreo), considerando también la existencia de formas particulares como epífitas, trepadoras o enredaderas.
4. **Regeneración natural de especies nativas:** Se realizó el conteo de individuos de especies nativas regenerando por especie. Para diferenciarlos de los individuos plantados, se utilizó el diseño de plantación (3x4 m) y el listado de especies establecidas, de modo que los árboles que no coincidían con la disposición establecida dentro del marco de plantación o que fueran pertenecientes a especies no plantadas quedaron clasificados como regeneración natural. Esta variable se midió de forma total en la parcela.
5. **Riqueza de especies de avifauna:** Se registró la presencia de aves observadas durante las jornadas de monitoreo, especialmente aquellas con función dispersora de semillas. Esta información fue recolectada mediante observación directa y corroboración participativa.

### A. Medición de la regeneración natural

Para ello se aplicó una metodología adaptada desde el Manual de Sistemas Silviculturales Ecológicos en plantaciones de Coihue y Raulí (Navarro *et al.* 2024), ajustada a las condiciones específicas del sitio y a los objetivos del monitoreo participativo del PRBD.

Cada parcela fue subdividida radialmente en cuatro ejes principales (norte, sur, este y oeste) (Kanjevac *et al.* 2023), sobre los cuales se distribuyeron dos subparcelas rectangulares de 2 m<sup>2</sup> (2 m ×

1 m) por dirección, ubicadas a 5 m y 9 m desde el centro, sumando un total de 8 subparcelas por unidad de muestreo. A continuación, se presenta la representación gráfica del diseño de muestreo:

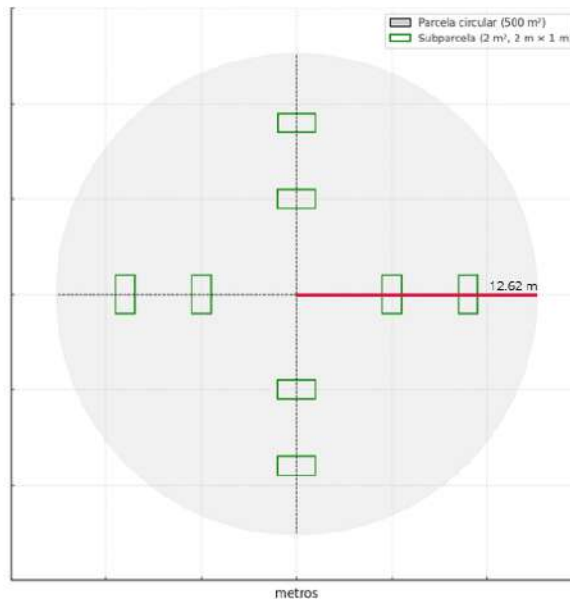


Figura 12. Representación gráfica del diseño de muestreo aplicado para medir las variables de DAP, Altura y Regeneración en el ecosistema de referencia. Elaboración propia.

En cada subparcela se midió el número de individuos nativos por especie, considerando todos aquellos individuos tanto arbóreos como arbustivos que no pertenecieran al diseño de plantación establecido.

## B. Registro de avifauna dispersora

Para el monitoreo de avifauna con potencial de dispersión de semillas se registró el número de especies. El levantamiento de esta información se realizó mediante observación directa y auditiva durante todo el proceso de medición de las otras variables. Es importante destacar que este enfoque metodológico de registro de avifauna no cumple con los estándares clásicos de muestreo de avifauna, como los conteos por puntos múltiples o transectos repetidos en distintas estaciones del año, los cuales suelen requerir mayor frecuencia, replicación temporal y condiciones de control del esfuerzo de muestreo (Bibby *et al.* 2000, Sutherland 2006). Además, considerando el carácter exploratorio del monitoreo implementado, se optó por complementar la información obtenida a partir del ecosistema de referencia con los registros visuales acumulados durante la práctica profesional, los cuales aportaron un conocimiento valioso sobre la presencia regular de ciertas especies dispersoras en sitios similares al ER. Finalmente, las especies de avifauna registradas fueron utilizadas posteriormente para calcular el índice de similitud de Sørensen en

comparación con las parcelas en restauración (Sørensen, 1984). Este valor representa un referente funcional, utilizado como umbral para evaluar el grado de convergencia entre los sitios en restauración y un ecosistema más avanzado.

Esta decisión metodológica responde a la necesidad de mantener un enfoque exploratorio compatible con las capacidades logísticas del proceso comunitario, sin renunciar a la integración de un referente funcional como la presencia de avifauna con potencial de dispersión.

**Anexo 2.** Detalle metodológico y resultados obtenidos a partir de la adaptación de indicadores y la construcción de la RRE y RRSE

### **A. Adaptación de indicadores y niveles de la RRE: escala de sitio**

#### **1) Diversidad de especies**

Los niveles para este indicador se construyeron utilizando el índice de Shannon ( $H'$ ), que se calcula a partir de la abundancia relativa de cada especie presente en las parcelas. En este indicador, se consideraron tanto los individuos plantados como aquellos registrados como regeneración natural nativa.

Para cuantificar la diversidad específica se utilizó el índice de Shannon ( $H'$ ), ampliamente empleado en ecología para evaluar la heterogeneidad de especies en función de su abundancia relativa (Magurran, 2004). La fórmula aplicada fue:

[1]

$$H' = - \sum_i^S p_i \times \ln(p_i)$$

Donde:

- $S$  es el número total de especies
- $p_i$  es la proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos en la parcela.

Como valor de referencia se utilizó el  $H'$  medido en el ecosistema de referencia, a partir del cual se definieron cinco niveles de recuperación ecológica en función del porcentaje de aproximación a dicho valor. Esta estrategia respondió a la necesidad de contar con una escala proporcional, estandarizada y replicable, capaz de reflejar el grado de avance hacia una condición ecológicamente deseada.

Los niveles se dividieron en intervalos regulares de 20 % del valor de referencia, con el objetivo de obtener una división proporcional entre niveles y comprensible, tanto para análisis técnicos, como para el MP. Esta forma de clasificación facilitó la integración del indicador dentro de la RRE, posibilitando futuras comparaciones entre parcelas, anuales y procesos de toma de decisiones, basadas en la gestión adaptativa.

**Cuadro 15.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Diversidad de especies nativas” según el  $H'$  obtenido.

Nivel	Rango del índice $H'$	Descripción
0	0	No existen especies nativas en la parcela
1	$> 0 - 0,42$	El sistema presenta muy baja diversidad específica, lo que indica un estado inicial en el proceso de restauración con escasa heterogeneidad y fuerte dominancia de pocas especies.
2	0,43 - 0,85	El sistema se encuentra en una sucesión temprana, con la llegada de algunas nuevas especies nativas, aunque todavía con una composición poco variada y una distribución desigual.
3	0,86 - 1,27	Se observa un avance hacia una mayor diversidad, con una composición más variada y una distribución más balanceada de las especies, lo que refleja un estado de recuperación en transición.
4	1,28 - 1,69	El ecosistema muestra alta diversidad, con buena representación de especies nativas y dominancias más equilibradas, reflejando un estado avanzado de restauración.
5	$\geq 1,70$	El sistema alcanza una diversidad muy alta, comparable con el ecosistema de referencia, lo que indica una restauración consolidada en términos de heterogeneidad específica.

El cuadro 15 presenta los seis niveles de recuperación ecológica definidos para el indicador “Diversidad de especies”, basados en el índice de Shannon ( $H'$ ). Los rangos fueron establecidos a partir del valor de referencia registrado en el ecosistema de referencia ( $H' = 2,12$ ), dividiendo este valor en intervalos proporcionales del 20%. El nivel 0 corresponde a la ausencia total de especies nativas en la parcela. Los niveles 1 a 3 representan estados sucesionales iniciales e intermedios, caracterizados por la colonización progresiva de especies nativas, aunque con baja riqueza y dominancia desigual. Los niveles 4 y 5 indican una mayor diversidad, la cual es cercana o equivalente a la del ecosistema de referencia, lo que sugiere una avanzada recuperación estructural y funcional del componente florístico.

## **2) Estratos**

El indicador “Estratos” fue diseñado para evaluar la diversidad vertical de formas de crecimiento presentes en las parcelas de restauración. Para su construcción, se registra la presencia o ausencia de los distintos estratos, definidos en base a las categorías funcionales comúnmente utilizadas en otros estudios (Donoso 2006).

La clasificación incluyó cuatro formas de crecimiento: herbáceo, arbustivo, arbóreo y trepadoras/enredaderas. Esta categorización permitió distinguir diferentes niveles de organización vertical de la vegetación, considerando tanto la estructura de las especies como su rol funcional dentro del ecosistema. La evaluación se realizó de forma visual, mediante reconocimiento en terreno por parte del equipo técnico y participantes del monitoreo, sin necesidad de estimaciones de cobertura ni altura. Este enfoque permitió construir un indicador sencillo, replicable y adecuado para el seguimiento participativo de la recuperación estructural de las plantaciones.

La construcción de los niveles se basó en la condición estructural del ecosistema de referencia. A partir de esta condición, se establecieron cinco niveles ordinales de recuperación ecológica, definidos según la cantidad y combinación de estratos presentes en cada parcela, organizados de menor a mayor complejidad.

Esta forma de clasificación permitió traducir observaciones cualitativas en una escala adaptada que facilitó su integración en la RRE.

**Cuadro 16.** Niveles de recuperación para el indicador “Estratos” dentro de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE)

<b>Nivel</b>	<b>Estratos presentes</b>	<b>Descripción</b>
<b>0</b>	Ningún estrato presente	No se encuentran especies establecidas en el lugar, ni signos de regeneración natural.
<b>1</b>	Estrato herbáceo incipiente	Sitio en estado inicial. Solo se identifican formas de crecimiento herbáceas.
<b>2</b>	Estrato herbáceo establecido y/o arbustivo incipiente	Se reconoce el establecimiento del estrato herbáceo y un estrato arbustivo en formación. Estructura aún simple y con bajo desarrollo.
<b>3</b>	Estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo en formación	La plantación comienza a presentar una diferenciación vertical clara. Estrato herbáceo y arbustivo establecido. El estrato arbóreo está presente pero aún no consolidado.
<b>4</b>	Estrato herbáceo, arbustivo, arbóreo consolidado y presencia de enredaderas/trepadoras	El sistema muestra un buen desarrollo estructural, con tres estratos ya establecidos. Las trepadoras comienzan a utilizar el espacio vertical, lo que sugiere un avance funcional hacia una vegetación más estratificada.
<b>5</b>	Todos los estratos bien establecidos (herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras)	Alta diferenciación vertical. El sitio expresa adecuadamente la diversidad de formas de crecimiento presentes en el ecosistema de referencia. El estrato arbóreo ya ha alcanzado una altura considerable.

El cuadro 16 presenta los seis niveles de recuperación definidos para el indicador denominado “Estratos. Cada nivel representa un grado creciente de complejidad estructural a medida que se aumenta el nivel. El nivel 0 representa una situación en la cual no se registra la presencia especies nativas, ya sean plantadas o regeneración natural. Los niveles 1 al 3 representan una organización vertical incipiente o parcial, con la presencia de uno a tres estratos, típica de etapas tempranas de restauración. Los niveles 4 y 5 indican una mayor diversificación de estratos establecidos y una diferenciación vertical clara, muy similar a la observada en el ecosistema de referencia.

### 3) Complejidad estructural - Avance estructural

La construcción de los niveles para este indicador se basó en las mediciones de DAP y alturas realizadas en el ecosistema de referencia. Estos valores se tradujeron en rangos para la definición del nivel 5 de la RRE que se utilizó como referencia para observar el grado del avance estructural de cada plantación hacia el ER, en términos del tamaño de los individuos. Cabe mencionar que la construcción de este indicador requirió ajustes conceptuales que dan cuenta del proceso de monitoreo previo y ajustes para una mejor comprensión por parte de la comunidad<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Dando cuenta del proceso de co-producción de los indicadores, cabe señalar que, aunque en etapas previas del proceso participativo este indicador fue denominado como “complejidad estructural”,

Para su cálculo se definió una métrica denominada como “Amplitud conjunta”, la cual representa el promedio de las proporciones de amplitud del DAP y de la altura, en relación con los rangos promedio de dichas variables en el ER. El enfoque de la fórmula aplicada para adaptar este indicador a la RRE, se basó en la comparación relativa de dos variables estructurales clave (DAP y altura), en línea con lo propuesto por Pretzsch (2009) y Zenner y Hibbs (2000), quienes destacan que la heterogeneidad en tamaños refleja etapas sucesionales y niveles de diferenciación estructural en ecosistemas forestales.

Esta métrica se calculó mediante la siguiente fórmula:

[2]

$$\textit{Amplitud conjunta} = \frac{1}{2} \left( \frac{\textit{Rango DAP parcela}}{\textit{Rango DAP ER}} + \frac{\textit{Rango Altura parcela}}{\textit{Rango Altura ER}} \right)$$

Donde:

- Rango DAP parcela = DAP máximo - DAP mínimo en la parcela monitoreada.

---

con la intención de comunicar el sentido de las mediciones del DAC y la altura, en etapas posteriores del proceso, su nombre fue ajustado como “Avance estructural”. Esto se hizo con el objetivo de reflejar con mayor precisión su función metodológica: estimar el progreso de las plantaciones hacia una condición estructural más desarrollada, sin implicar necesariamente una evaluación integral de la complejidad ecosistémica. Esta modificación permitió mantener la coherencia técnica del indicador, sin perder la continuidad del proceso participativo.

Asimismo, es importante aclarar que, considerando la etapa temprana de desarrollo de muchas de las plantaciones monitoreadas en el PRBD, las mediciones de tamaño se realizan actualmente mediante el diámetro a la altura de cuello (DAC). No obstante, en el ER las mediciones se realizaron a la altura del pecho (DAP), dado el mayor desarrollo estructural de los individuos.

Esta diferencia metodológica responde a una condición técnica necesaria y fue prevista en el diseño del sistema de monitoreo. Mientras los individuos no alcancen la altura suficiente para una medición estandarizada del DAP, se continuará utilizando el DAC de manera sistemática en las plantaciones jóvenes, hasta que alcancen el crecimiento suficiente (1.30 m). El indicador de avance estructural conserva su validez en la medida que se interprete como una aproximación relativa al desarrollo estructural, y no como una comparación exacta de valores absolutos.

- Rango Altura parcela = Altura máxima - Altura mínima en la parcela monitoreada.
- Rango DAP ER y Rango Altura ER corresponden a los valores de referencia obtenidos en el ecosistema modelo.

En base a esta amplitud conjunta, se definieron los cinco niveles de la rueda. Estos valores se encuentran distribuidos en intervalos del 20 %, siguiendo el criterio metodológico ya empleado en los otros indicadores.

**Cuadro 17.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Avance estructural” basado en la amplitud conjunta de DAP y altura.

Nivel	Amplitud conjunta (%)	Descripción
0	0%	No existe variabilidad estructural. Aún no se han realizado intervenciones de restauración.
1	> 0% - 20 %	Baja variabilidad estructural: individuos pequeños y tamaños homogéneos.
2	> 20 % - 40 %	Se aprecia una heterogeneidad estructural incipiente; tamaños aún concentrados en valores pequeños.
3	> 40 % - 60 %	La plantación representa una variabilidad intermedia de tamaños, con cierta diversidad en diámetros y alturas.
4	> 60 % - 80 %	Se observa una buena progresión hacia la estructura del ecosistema de referencia.
5	> 80 %	Alta similitud estructural con el ecosistema de referencia; amplitud plenamente desarrollada.

El cuadro 17 presenta los cinco niveles definidos para el indicador “Avance estructural”. El nivel 0 corresponde a la ausencia total de variabilidad estructural, donde no se observan intervenciones de restauración. Los niveles 1 al 3 representan un aumento progresivo en la heterogeneidad estructural, desde una baja variabilidad con individuos homogéneos hasta una diversidad intermedia de diámetros y alturas. Los niveles 4 y 5 indican una alta similitud estructural con el ecosistema de referencia, con una amplitud plenamente desarrollada que refleja un avance significativo del ecosistema en términos de composición y estructura.

#### 4) Regeneración natural de especies nativas

La construcción de los niveles para este indicador se basó en un enfoque mixto que integró la riqueza total de especies nativas presentes en regeneración con la composición funcional según su clasificación por tolerancia a la sombra (Donoso 2006). Este enfoque permitió representar no solo la

cantidad de especies presentes, sino también su valor ecológico en función de su rol sucesional. Esto tuvo el objetivo de entregar una caracterización más cualitativa de este indicador, facilitando su interpretación ecológica y a su vez, permitiendo mayor comprensión de los avances en regeneración natural por parte de la comunidad.

Para definir el nivel 5 de la rueda de este indicador se utilizaron los valores de riqueza y caracterización en función de la tolerancia a la sombra de la regeneración natural de especies nativas registradas en el ER.

Para el diseño del indicador, se consideraron dos dimensiones:

1. Riqueza de especies nativas regenerando por parcela, entendida como el número total de especies diferentes observadas en regeneración natural, independiente de su abundancia relativa.
2. Calidad funcional de la regeneración, evaluada mediante la presencia de especies plenamente tolerantes a la sombra, con un mínimo de 5 individuos por especie para ser consideradas como representativas.

A partir de esto, se definieron los cinco niveles de la rueda. El nivel 5 fue determinado directamente con base en las condiciones observadas en el ecosistema de referencia, mientras que los niveles inferiores se establecieron de forma descendente, según umbrales que reflejan una progresión funcional y de composición hacia dicha condición de referencia.

**Cuadro 18.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Regeneración natural nativa” según el porcentaje de individuos sin síntomas visibles.

Nivel	Composición de la regeneración natural nativa	Descripción
0	Ninguna especie nativa se encuentra regenerando.	No existe regeneración natural de especies nativas
1	Menos de 3 especies en total, y todas pioneras (intolerantes a la sombra), sin individuos de especies tolerantes o semitolerantes.	Regeneración incipiente, dominada por especies pioneras de baja tolerancia.
2	Entre 3 y 5 especies, incluyendo al menos 1 especie semitolerante. Ninguna especie plenamente tolerante con $\geq 5$ individuos.	Comienzan a aparecer especies de transición, pero la regeneración sigue dominada por pioneras.
3	Entre 6 y 8 especies, incluyendo al menos 1 tolerante con $\geq 5$ individuos y al menos 3 semitolerante.	Diversidad moderada, con signos iniciales de maduración estructural.
4	Entre 9 y 14 especies, con al menos 2 especies tolerantes ( $\geq 5$ individuos cada una) y $\geq 5$ especies semitolerantes.	Buena diversidad y coexistencia entre especies pioneras, de semitolerantes y tolerantes.
5	$\geq 14$ especies, con al menos 3 especies plenamente tolerantes ( $\geq 5$ individuos cada una) y representación balanceada de todos los grupos.	Alta diversidad y composición funcional cercana al ecosistema de referencia. Indica regeneración en etapas avanzadas.

El cuadro 18 representa los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Regeneración natural nativa”. El nivel 0 corresponde a la ausencia total de regeneración natural de especies nativas, lo que indica un estado de degradación sin señal de colonización de especies nativas. Los niveles 1 a 3 representan una progresión desde una regeneración incipiente, dominada por especies pioneras, hasta una diversidad moderada con la aparición de especies semitolerantes y tolerantes a la sombra. Los niveles 4 y 5 indican una alta diversidad y coexistencia funcional entre especies pioneras, semitolerantes y tolerantes, con una composición balanceada que refleja un avance significativo hacia la dinámica sucesional del ecosistema de referencia.

### 5) Dispersores de semillas

Este indicador se aplica como una variable funcional de cada sitio, orientada a evaluar el grado de avance en la recuperación del servicio ecosistémico de dispersión de semillas por avifauna, lo cual resulta en un aporte a la regeneración natural, y por ende, al proceso de restauración. La construcción de los niveles del indicador “Dispersores de semillas” se basó en la comparación de la riqueza de especies de avifauna con potencial de dispersión registrada en las parcelas en restauración con aquella observada en el ecosistema de referencia, utilizando el índice de similitud de Sørensen. Este índice permite estimar el grado de superposición en la composición de especies entre dos sitios, considerando únicamente su presencia o ausencia (Magurran, 2004).

Para el cálculo del índice, se utilizó la siguiente fórmula:

[3]

$$S\text{ørensen} = \frac{2c}{A+B}$$

Donde:

- $A$  = número total de especies registradas en la parcela en restauración,
- $B$  = número total de especies observadas en el ecosistema de referencia,
- $C$  = número de especies compartidas entre ambos sitios.

Este índice varía entre 0 (sin especies en común) y 1 (Riqueza de especies idénticas), lo que lo hace útil para representar la convergencia funcional entre un sitio en proceso de restauración y un ecosistema más avanzado. En este caso, se utilizó como referencia la lista consolidada de avifauna registrada.

A partir de los valores del índice de Sørensen, se construyeron los cinco niveles, segmentados en intervalos regulares del 20 % (cuadro 19).

**Cuadro 19.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Dispersores de semillas” según el índice de similitud de Sørensen ( $S_{\sigma r}$ ).

Nivel	Dispersores de semillas ( $S_{\sigma r}$ )	Descripción
0	0,00	No existe similitud. Ninguna de las especies de avifauna con potencial de dispersión visita el sitio.
1	> 0 – 0,20	Muy baja similitud. Pocas especies de avifauna con potencial de dispersión visitan la plantación; débil funcionalidad del proceso.
2	>0,21 - 0,40	Baja similitud. Algunas especies de avifauna comienzan a aparecer con mayor frecuencia, pero la atracción aún es limitada.
3	>0,40 - 0,60	Similitud intermedia. Se observa una comunidad de avifauna mixta con varias especies compartidas con el ecosistema de referencia.
4	>0,60 - 0,80	Alta similitud. El ensamblaje de aves se asemeja en gran porcentaje al del ecosistema de referencia.
5	>0,80 - 1,00	Muy alta similitud. La comunidad de avifauna con potencial de dispersión se considera equivalente a la del ecosistema de referencia.

El cuadro 19 presenta los cinco niveles utilizados para evaluar la presencia (Riqueza) de aves dispersoras de semillas en los sitios en proceso de restauración, comparando su composición con la del ecosistema de referencia. El nivel 0 representa una situación en la que no se registra ninguna de las especies de avifauna presentes en el ecosistema de referencia. Los niveles 1 a 3 reflejan una progresión desde una muy baja hasta una similitud intermedia, con la aparición gradual de especies visitantes, aunque aún con baja frecuencia. Los niveles 4 y 5 indican los niveles más altos de similitud, respectivamente, con el ensamblaje de aves del ecosistema de referencia, sugiriendo una recuperación avanzada en términos de conectividad ecológica y funcionalidad del proceso de dispersión de semillas.

## 6) Estado fitosanitario

La construcción del indicador “Estado fitosanitario” se basa en la evaluación visual de síntomas de deterioro sanitario en los individuos plantados. Se registra la presencia o ausencia de diez tipos de síntomas reconocibles en terreno, entre ellos: daño por insecto, clorosis, agalla foliar, orificio en el fuste, canchales, defoliación, insolación, quemaduras, ahorcamiento, daño por lagomorfo y daño por ganado (ramoneo).

Cada individuo puede presentar múltiples síntomas o ninguno, y el análisis se basa en la proporción de individuos sin síntomas visibles, calculada mediante la siguiente fórmula:

[4]

$$\text{Estado fitosanitario} = \left( \frac{N^{\circ} \text{ total de individuos evaluados}}{N^{\circ} \text{ de individuos sin síntomas}} \right) \times 100$$

Este valor permite cuantificar de manera simple y replicable el estado general de salud de las plantaciones. Si bien no se trata de una evaluación fitosanitaria detallada desde el punto de vista fisiológico o patológico, su diseño busca facilitar la implementación comunitaria del monitoreo, maximizando la capacidad de respuesta ante la detección de patrones en función de los síntomas.

A partir del porcentaje obtenido, se definieron cinco niveles ordinales en intervalos de 20 %, siguiendo la lógica empleada en los otros indicadores del sistema.

**Cuadro 20.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Estado fitosanitario” según el porcentaje de individuos sin síntomas visibles.

Nivel	% de individuos sin síntomas	Descripción
0	0%	Todos los individuos presentan síntomas.
1	> 0 – 20%	Alta incidencia de enfermedades o estrés. La mayoría de las plantas presenta síntomas severos.
2	>20 – 40%	Más de la mitad de los individuos presentan algún daño. El sitio requiere acciones urgentes.
3	>40 – 60%	Nivel intermedio de sanidad. Existen síntomas moderados, pero se mantienen plantas funcionales.
4	>60 – 80%	Buena salud general. La mayoría de las plantas no muestra síntomas significativos.
5	> 80%	Plantación en excelente estado. Casi todos los individuos están sanos y vigorosos.

El cuadro 20 presenta los cinco niveles ordinales establecidos para evaluar el estado fitosanitario de las plantaciones restauradas, en función del porcentaje de individuos que no presentan síntomas visibles de deterioro. El nivel 0 representa una situación crítica en la cual todos los individuos muestreados (plantados) presentan síntomas respecto a su estado fitosanitario. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una alta incidencia de daño hasta una condición intermedia de sanidad, con presencia de síntomas moderados, pero mantenimiento de funciones básicas en la plantación. Los niveles 4 y 5 indican una buena a excelente salud general, con la mayoría de los individuos libres de síntomas significativos, lo que sugiere un avance hacia un estado funcional y resiliente del sistema restaurado

### **7) Sobrevivencia**

El indicador “Sobrevivencia” fue diseñado para evaluar el estado de avance en la permanencia de individuos vivos a lo largo del tiempo dentro de cada parcela monitoreada, en relación con el total de individuos plantados hasta el momento del monitoreo. Este indicador refleja tanto el éxito inicial de la plantación como la capacidad de mantenimiento del sistema restaurativo en el tiempo, considerando también los replantes.

En cada monitoreo, se contabiliza:

- 1) El número total acumulado de individuos plantados, incluyendo tanto los individuos de la plantación inicial como los que fueron incorporados posteriormente mediante replante.
- 2) El número total de individuos vivos, definidos como aquellos que presentan signos activos de crecimiento.

Con esta información se calcula el porcentaje de sobrevivencia acumulada, mediante la fórmula:

[5]

$$\text{Sobrevivencia acumulada (\%)} = \left( \frac{\text{n}^\circ \text{ de individuos vivos al momento del monitoreo}}{\text{n}^\circ \text{ total acumulado de individuos plantados}} \right)$$

Este enfoque busca evaluar del estado de avance de cada plantación.

En cuanto a los niveles, estos se construyeron a partir del porcentaje de sobrevivencia acumulada en cada parcela, estableciendo cinco categorías ordinales que permiten visualizar la condición del sitio dentro de la RRE.

**Cuadro 21.** Niveles de recuperación para el indicador “Sobrevivencia” dentro de la Rueda de Recuperación Ecológica (RRE).

Nivel	% de Supervivencia	Descripción
0	0%	No existe supervivencia. Ninguno de los individuos plantados sobrevivió. Requiere replante total.
1	> 0% - 20 %	Muy baja supervivencia. Los esfuerzos de plantación, tanto en técnicas de plantación y selección de especies fueron inadecuados o insuficientes.
2	> 20 % - 40 %	Supervivencia aún baja. Alta mortalidad, incluso considerando replantación.
3	> 40 % - 60 %	Supervivencia medianamente considerable. Supervivencia parcial, lo que requiere ajustes en el manejo de la plantación.
4	> 60 % - 80 %	Supervivencia considerable. La mayoría de las plantas, incluyendo replantes, han prendido.
5	> 80 %	Gran porcentaje de supervivencia. Alta viabilidad del proceso restaurativo acumulado a través del tiempo.

En el cuadro 21 se presentan los cinco niveles de la RRE definidos para el indicador “Supervivencia”. Cada nivel corresponde a un rango porcentual de supervivencia acumulada en el tiempo de los individuos plantados, ya que se incluyen los replantes como esfuerzo de restauración. El nivel 0 representa una situación crítica en donde ninguno de los individuos plantados ha sobrevivido, lo cual sugiere modificaciones en el diseño de plantación, y por ende, futuro replante. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una muy baja hasta una mediana supervivencia, con una alta mortalidad que requiere ajustes en las técnicas de manejo y posiblemente replantación parcial, en apoyo al proceso de restauración. Los niveles 4 y 5 indican una alta viabilidad del proceso restaurativo, con un gran porcentaje de individuos supervivientes acumulados a través del tiempo, lo que sugiere un avance significativo en la consolidación de la plantación y un efecto positivo del diseño de plantación.

### 8) Control de invasoras

Inicialmente este indicador fue denominado “Ausencia de invasoras”, en concordancia con el atributo definido por la Rueda de Recuperación Ecológica (Gann *et al.* 2019) bajo el eje de “ausencia de amenazas”. Sin embargo, se optó por renombrarlo como “Control de invasoras”, basado en un índice cuantitativo que considera la intensidad de la amenaza, y no solo su presencia o ausencia (Gaertner *et al.* 2012, Shackelford *et al.* 2013).

Este indicador se representa mediante la estimación de la cobertura de especies invasoras presentes en la parcela, expresada como el porcentaje de ocupación en relación con la superficie total muestreada (500m<sup>2</sup>). Este enfoque permite obtener una medida directa y fácilmente interpretable de la

magnitud de la amenaza, ya que la cobertura refleja tanto la extensión espacial de las invasoras como su potencial para competir por recursos y limitar el desarrollo de especies nativas (Vilá *et al.* 2011)

Para su estimación, se registran las especies invasoras en la parcela y el porcentaje aproximado de ocupación de cada una de estas. Luego simplemente se suman para obtener el porcentaje total ocupado por especies invasoras.

De este modo, el valor resultante se interpreta como un gradiente de presión relativa (%): cuanto mayor sea el porcentaje de cobertura, mayor será la presión de las invasoras sobre el ecosistema en recuperación.

**Cuadro 22.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Control de invasoras” en función de su porcentaje de ocupación en la parcela.

Nivel	Rango de cobertura (%)	Descripción
0	90 - 100 %	Dominio absoluto de especies invasoras. La parcela se encuentra completamente cubierta, restringiendo en gran medida el establecimiento de especies nativas y representando el estado de mayor presión.
1	70 - 89 %	Alta presión. La cobertura de invasoras domina la mayor parte de la parcela, comprometiendo el establecimiento y crecimiento de especies nativas.
2	50 - 69 %	Presión significativa. Las invasoras cubren buena parte de la superficie, generando limitaciones importantes para las acciones de restauración y para la regeneración de especies nativas.
3	30 - 49 %	Presión media. La cobertura de invasoras es considerable, pero las especies nativas logran establecerse y competir. Es posible el avance de las acciones de restauración, con su debido control de invasoras.
4	10 - 29 %	Presión baja. La cobertura de invasoras es reducida y no representa un riesgo inmediato para el proceso de restauración o el desarrollo de la regeneración natural.
5	≤ 9 %	Presión muy baja y/o controlada. Las invasoras ocupan áreas mínimas y la comunidad nativa predomina claramente. El proceso de restauración puede desarrollarse sin mayores preocupaciones.

El cuadro 22 presenta los cinco niveles definidos para el indicador “Control de invasoras. El nivel 0 indica un dominio absoluto, donde la diversidad de especies invasoras supera a la de especies nativas. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una alta presión hasta una presión media de las especies invasora, con coberturas que varían entre un 70% y un 30%, generando limitaciones importantes para la regeneración natural y el avance del proceso de restauración. Los niveles 4 y 5 indican una baja o muy baja presión de las especies invasoras, con coberturas inferiores al 30% y al 9% respectivamente, lo que sugiere que la comunidad de especies nativas domina claramente y el proceso de restauración puede desarrollarse sin mayores preocupaciones.

## B. Adaptación de indicadores y niveles de la RRSE: A nivel general

### 1) Sobrevivencia

Este indicador se construyó a partir del cálculo del porcentaje promedio ponderado de la sobrevivencia, considerando la totalidad de las parcelas monitoreadas en el PRBD.

Para su integración en la RRSE utilizaron los valores anuales de sobrevivencia utilizados para la RRE. El cálculo de este indicador se realiza mediante la siguiente fórmula:

[6]

$$\text{Promedio ponderado de sobrevivencia} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot N_i)}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Donde:

- $S_i$  = porcentaje de sobrevivencia de la parcela  $i$  (incluyendo replantes)
- $N_i$  = número total acumulado de individuos plantados en la parcela  $i$
- $n$  = número de parcelas monitoreadas

A partir de esta lógica, se definieron los cinco niveles de recuperación, distribuidos en tramos porcentuales regulares.

**Cuadro 23.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Sobrevivencia promedio ponderada” según el porcentaje de individuos vivos en cada parcela.

Nivel	Sobrevivencia promedio ponderada	Descripción
0	0%	No existe efectividad en el establecimiento de las plantaciones. Es necesario reestructurar la planificación.
1	> 0% - 20 %	Muy baja efectividad a nivel del proyecto. El proceso restaurativo enfrenta fallas estructurales.
2	> 20 % - 40 %	Baja sobrevivencia en general. Se requieren ajustes técnicos y refuerzos.
3	> 40 % - 60 %	Nivel medio. Se evidencian diferencias entre las parcelas, con sectores aún frágiles.
4	> 60 % - 80 %	Buena sobrevivencia comunitaria. Las prácticas implementadas están funcionando.
5	> 80 %	Excelente prendimiento general. La restauración avanza con muy alta efectividad.

El cuadro 23 presenta los cinco niveles establecidos para el indicador “Sobrevivencia”. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existe efectividad en el establecimiento de las plantaciones, lo que indica un fracaso total del proceso restaurativo y la necesidad de reestructurar la planificación. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una muy baja hasta una media sobrevivencia general del PRBD, con variabilidad entre parcelas y requerimiento de ajustes técnicos y fortalecimiento de prácticas. Los niveles 4 y 5 indican una buena a excelente sobrevivencia general, con pruebas de la eficacia de las prácticas implementadas y un avance significativo hacia la consolidación del PRBD.

## 2) Estado fitosanitario

El indicador “estado fitosanitario” se construye a partir del porcentaje de individuos sin síntomas visibles registrados en cada parcela. Para su integración en la rueda se utilizó el promedio ponderado, incluyendo la importancia relativa de cada parcela según el número de árboles evaluados.

El cálculo para su integración en la rueda se realizó con la siguiente formula:

[7]

$$Estado\ fitosanitario_{ponderado(\%)} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{N_{sanos,i}}{N_{total,i}} \right)}{\sum_{i=1}^n N_{total,i}} \right) \times 100$$

Donde:

- $N_{sanos,i}$  = número de individuos sin síntomas visibles en la parcela  $i$
- $N_{total,i}$  = número total acumulado de individuos evaluados en la parcela  $i$
- $n$  = número total de parcelas monitoreadas

Esta metodología asegura la consistencia entre ambos indicadores basados en el conteo de individuos y permite capturar el estado fitosanitario global del proceso de restauración.

**Cuadro 24.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Estado fitosanitario” según el porcentaje ponderado de individuos sin síntomas visibles en las plantaciones del PRBD.

Nivel	Porcentaje ponderado de individuos sin síntomas visibles	Descripción
0	0%	El estado general de las plantaciones es crítico, todos los individuos plantados muestran síntomas.
1	> 0% - 30 %	El estado sanitario general del programa es grave, con alta presencia de síntomas visibles.
2	30 - 49 %	Condición sanitaria deficiente a nivel programático.
3	50 - 69 %	Se observa una recuperación parcial, pero aún existen debilidades sanitarias relevantes.
4	70 - 84 %	Condición sanitaria satisfactoria en la mayoría de las plantaciones monitoreadas.
5	≥ 85 %	Salud fitosanitaria robusta a nivel general del PRBD; compatible con ecosistemas funcionales.

El cuadro 24 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Estado fitosanitario”, basado en el porcentaje ponderado de individuos sin síntomas visibles en las plantaciones a nivel general del PRBD. El nivel 0 corresponde a una condición de deterioro generalizado donde la totalidad de individuos que han sido plantados presentan síntomas respecto a su estado fitosanitario. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una alta incidencia de enfermedades hasta una condición sanitaria parcial, con presencia de síntomas moderados, pero mantenimiento de funciones básicas. Los niveles 4 y 5 indican de una buena a excelente salud general del PRBD, con la mayoría de los individuos libres de síntomas significativos, lo que sugiere un avance hacia un estado funcional y resiliente del sistema restaurado.

### 3) Dispersores de semillas

El indicador “Dispersores de semillas” fue incorporado en la RRSE como una variable funcional a nivel de programa, orientada a evaluar el grado de avance del PRBD en la recuperación del servicio ecosistémico de dispersión de semillas. Para su integración en la RRSE, los valores obtenidos en cada parcela se consolidaron mediante el promedio simple de los índices de Sørensen, lo que permite estimar un valor agregado de similitud funcional para todo el sistema PRBD.

Para definir los niveles ordinales de avance en la RRSE, se adoptó una escala en intervalos regulares de 0,20 unidades sobre el valor promedio del índice de Sørensen.

**Cuadro 25.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Dispersores de semillas” según la similitud funcional de avifauna con el ecosistema de referencia (Índice de similitud de Sørensen)

Nivel	Umbral (Índice de similitud de Sørensen promedio)	Interpretación del nivel
0	0,00	No existe similitud entre las especies de avifauna presentes en las plantaciones en función del ecosistema de referencia
1	> 0 – 0,20	El PRBD presenta una comunidad de avifauna muy distinta y baja riqueza en comparación con el ecosistema de referencia.
2	0,21 – 0,40	Se observa un avance incipiente en la recolonización de dispersores, aunque el servicio de dispersión aún se encuentra limitado en el sistema.
3	0,41 – 0,60	El sistema muestra un grado moderado de recuperación funcional. Varias especies clave están presentes, pero no se ha consolidado aún una comunidad equivalente a la del ecosistema de referencia.
4	0,61 – 0,80	Alta convergencia funcional. El PRBD sostiene una comunidad dispersora cercana al ecosistema de referencia, aportando de forma consistente al reclutamiento vegetal.
5	> 0,80	La similitud funcional con el ecosistema de referencia es muy alta. El servicio de dispersión está plenamente recuperado a nivel del programa.

El cuadro 25 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Dispersores de semillas”. El nivel 0 corresponde a una ausencia total de similitud, donde ninguna especie de avifauna con capacidad de dispersión visita el sitio, indicando una desconexión crítica con los procesos naturales de regeneración. Los niveles 1 al 3 representan una progresión desde una muy baja hasta una similitud intermedia, con la aparición gradual de especies visitantes en las parcelas, aunque aún con baja frecuencia y una funcionalidad limitada. Los niveles 4 y 5 indican una alta y muy alta similitud, respectivamente, con un ensamblaje de avifauna muy similar o igual al del ecosistema de referencia, sugiriendo una recuperación avanzada en términos de conectividad ecológica y funcionalidad del proceso de dispersión de semillas.

#### 4) Diversidad de especies nativas

En este caso, la diversidad se representa mediante el promedio ponderado de los valores de Shannon ( $H'$ ) registrados en cada parcela; ponderado según el número total de individuos registrados por sitio. Siguiendo la misma lógica de los indicadores anteriores, mediante la siguiente formula:

[8]

$$H'_{ponderado(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n (H'_i \cdot N_i)}{\sum_{i=1}^n N_{total,i}}$$

Donde:

- $H'_i$  = Índice de Shannon de la parcela  $i$
- $N_i$  = número total acumulado de individuos evaluados en la parcela  $i$
- $n$  = número total de parcelas monitoreadas

El valor de del índice de Shannon del ecosistema de referencia se considera el punto más alto en la escala de recuperación (nivel 5), y los demás niveles se definieron como porcentajes de aproximación distribuidos de forma regular (20%), en función de este valor.

**Cuadro 26.** Niveles del indicador “Diversidad de especies” para la RRSE, según el valor ponderado del índice de Shannon ( $H'$ ).

Nivel	Rango de $H'$ ponderado	Descripción
0	0,0	No existe diversidad de especies nativas. Aún no se ejecutan plantaciones y tampoco existe regeneración natural en los sitios a restaurar.
1	> 0 -0,42	Muy baja diversidad. Predominancia de pocas especies con fuerte dominancia.
2	> 0,42 - 0,84	Baja diversidad específica. Aparecen algunas nuevas especies, pero con alta desigualdad en abundancias.
3	> 0,84 - 1,26	Diversidad intermedia. Composición moderada con distribución más equilibrada.
4	> 1,26 - 1,69	Alta diversidad. Buena representación de especies nativas con dominancias más repartidas.
5	> 1,69 - 2,12	Diversidad muy alta, cercana al ecosistema de referencia. Alta heterogeneidad específica.

En el cuadro 26 el nivel 5 representa situaciones donde la diversidad alcanza o se aproxima al sistema de referencia, evidenciando una alta heterogeneidad específica. En contraste, los niveles 1 y 2 reflejan estados incipientes de restauración, con predominancia de pocas especies y escasa equidad.

### 5) Regeneración natural nativa

La evaluación del estado general de la regeneración natural de especies nativas se construyó a partir de una adaptación metodológica del indicador establecido en la RRE. Para su cálculo, se realizó un análisis de la distribución de niveles entre parcelas, identificando el porcentaje de ruedas que alcanzan cada nivel. Cada parcela restaurada fue clasificada según los niveles establecidos en la RRE, y a partir de la proporción de niveles asignados, se determinó el estado general de la regeneración natural en el PRBD.

**Cuadro 27.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Regeneración natural nativa” para la RRSE.

Nivel	Umbral (distribución del nivel modal)	Descripción
0	El 100% se encuentran entre el nivel 0 o 1	El sistema muestra una regeneración natural muy escasa, compuesta principalmente por especies pioneras intolerantes a la sombra. En muchos casos la regeneración de especies nativas es inexistente.
1	Más del 80% se encuentran en el nivel 1 o 2	La regeneración natural es muy baja o está compuesta principalmente por especies pioneras intolerantes a la sombra. Se requiere impulsar procesos de facilitación.
2	Entre el 40 - 79% se encuentran en el nivel 1 o 2	El sistema muestra baja regeneración, con presencia de pocas especies nativas y bajo valor funcional.
3	Entre el 20 - 39% se encuentran en el nivel 1 o 2	Se observa una regeneración nativa moderada, con mezcla de especies pioneras y algunas semitolerantes o tolerantes a la sombra. El sistema comienza a recuperar complejidad funcional.
4	Entre el 10 - 29% se encuentran en el nivel 1 o 2	Alta regeneración nativa, con presencia regular de especies tolerantes a la sombra. Muestra que el sistema comienza a cerrar ciclos sucesionales tempranos.
5	Menos del 10% se encuentran en el nivel 1 o 2	Regeneración consolidada, abundante regeneración de especies nativas funcionalmente relevantes. Indica un sistema que se encamina a procesos de madurez en su dinámica sucesional natural.

El cuadro 27 presenta los cinco niveles establecidos para el indicador “Regeneración natural de especies nativas”. El nivel 0 corresponde a una condición crítica en donde todas las parcelas de monitoreo del PRBD presentan regeneración muy escasa o inexistente, dominada por especies pioneras intolerantes a la sombra. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una regeneración muy baja hasta una regeneración moderada, con la aparición gradual de especies semitolerantes y tolerantes a la sombra, lo que sugiere un aumento en la complejidad del sistema. Los niveles 4 y 5 indican desde una alta a una muy alta regeneración natural, con una presencia regular de especies más tardías que permiten el cierre de etapas sucesionales tempranas y un avance hacia futuros estados de madurez ecológica.

### 6) Estado del cerco

El indicador “Estado del cerco” se utiliza como un factor condicionante que habilita el éxito del proceso restaurativo. Si bien, este indicador no mide un atributo ecológico como tal, su importancia está en otorgar protección al sistema restaurado frente a presiones externas, siendo este un prerrequisito para que otros procesos ecológicos puedan desarrollarse sin interferencias.

El diseño del sistema de MP plantea que cada socio registre anualmente el estado del cerco en su parcela a partir de dos fuentes de información complementarias:

1. Tipos de daño observados (selección múltiple), incluyendo: Rotura de alambre, Caída de tramos, Ausencia de alambre o malla, Polines sueltos, Caída de árboles sobre el cerco, Otro (especificar).
2. Evaluación global del estado del cerco (escala ordinal de 3 niveles):
  - Bueno: completo y funcional, sin daños relevantes.
  - Regular: con daños puntuales, pero aún funcional.
  - Malo: con daños severos que comprometen su función protectora.

Dada la naturaleza de la rueda, se diseñó un sistema de transformación que permita mantener el valor informativo de los datos registrados en terreno y, al mismo tiempo, entregar una señal clara del grado de avance en términos de protección física del sitio. El procedimiento se basó en una recodificación cruzada, donde el nivel asignado depende tanto del estado general del cerco como de la cantidad de tipos de daño registrados. Esto permite distinguir entre parcelas que comparten un mismo diagnóstico general (“malo” o “regular”) pero difieren significativamente en la magnitud o extensión de los daños.

Para integrar el indicador “Estado del cerco” en la RRSE, se consolidó la información levantada en todas las parcelas permanentes de monitoreo del PRBD, tomando como base la categoría asignada a cada cerco (bueno, regular o malo). A nivel de general del proceso, se consideró como valor de referencia el porcentaje de sitios en restauración clasificados con cercos en estado “bueno”.

La proporción de cercos en buen estado se utilizó como criterio para definir el nivel general del programa en este indicador, bajo el supuesto de que, a mayor cobertura de cercos funcionales, mayor será la capacidad del sistema para proteger las plantaciones frente a perturbaciones externas (especialmente el ingreso de ganado). Esta forma de integración fue seleccionada por su aplicabilidad sencilla, su claridad en la comunicación de resultados y su relevancia práctica para la toma de decisiones.

Es así como los niveles se definieron en función de rangos porcentuales, distribuidos en intervalos regulares, lo cual permite caracterizar el estado general del sistema y diferenciar entre situaciones críticas, intermedias o consolidadas, de acuerdo con el porcentaje de parcelas que cuentan con un cerco funcional.

**Cuadro 28.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Estado del cerco” según el porcentaje de parcelas que presentan un cerco en buen estado funcional.

Nivel	% de parcelas con cerco en buen estado	Descripción
0	0%	Ninguno de los sitios de restauración cuenta con un cerco funcional o simplemente no existe un cerco. El proceso de restauración se encuentra con limitaciones graves.
1	> 0 - 20%	La mayoría de las parcelas no cuenta con un cerco funcional. La restauración está altamente expuesta a amenazas externas. Se requiere intervención inmediata.
2	> 20 - 40%	Algunos predios cuentan con cercos funcionales, pero la mayoría presenta deterioro estructural. El avance es aún incipiente.
3	> 40 - 60%	Cerca de la mitad de las parcelas cuenta con cercos adecuados. Se observa un proceso activo de recuperación o mantención.
4	> 60 - 80%	La mayoría de las parcelas tiene cercos funcionales y estables. Se refleja una apropiación sostenida de la exclusión como estrategia de restauración.
5	> 80%	El programa ha logrado consolidar el buen estado del cerco en casi todos los predios. Se alcanza una condición estructural óptima para la restauración.

El cuadro 28 presenta los cinco niveles definidos para el indicador “Estado del cerco”, organizados según el porcentaje de parcelas que presentan cercos funcionales. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde ninguno de los sitios en restauración cuenta con un cerco funcional, lo que indica una alta vulnerabilidad respecto a amenazas externas que puedan afectar negativamente el PRBD. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una muy baja proporción de parcelas con cercos funcionales hasta una proporción moderada, con un avance incipiente en cuanto a la protección estructural del área en restauración. Los niveles 4 y 5 indican una alta proporción de parcelas con cercos adecuados y estables, lo que sugiere una apropiación sostenida de la exclusión como estrategia clave para garantizar la continuidad del PRBD.

### 7) Ausencia de ganado

Para el monitoreo de este indicador, se implementó en el sistema de MP una planilla estandarizada de registro por parcela, que registra distintas evidencias de presencia de ganado. Para considerar una parcela “sin evidencia de ganado”, se requiere que todas las evidencias clave indiquen ausencia, con un criterio complementario para situaciones especiales. Las evidencias registradas son:

- Observación directa de ganado.

- Huellas visibles.
- Presencia de heces recientes.
- Ramoneo (considerado como señal complementaria en ausencia de otras evidencias).

A nivel del PRBD, se consolidó la información de todas las parcelas monitoreadas y se calculó el porcentaje de parcelas libres de evidencia de ingreso de ganado. Este valor fue utilizado como indicador sintético del estado del sistema respecto al control de esta perturbación. Este enfoque otorga claridad en la interpretación, facilidad de aplicación en terreno y una relevancia directa para la toma de decisiones comunitarias, especialmente respecto al manejo de cercos y los acuerdos territoriales.

**Cuadro 29.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Control de ganado” según el porcentaje de individuos vivos en cada parcela.

Nivel	% de parcelas sin evidencia de ganado	Descripción
0	0%	La totalidad de las parcelas presentan evidencia de ingreso de ganado al área de restauración. Limitaciones graves al proceso de restauración.
1	1- 20%	La mayoría de las parcelas muestran signos de ingreso de ganado. El sistema está ampliamente expuesto a esta perturbación.
2	>20 - 40%	El control de ingreso es parcial y la presencia de ganado sigue siendo común en gran parte del sistema.
3	>40 - 60%	Reducción importante de la presión ganadera. El control comienza a ser efectivo en varias parcelas.
4	>60 - 80%	La mayoría de las parcelas están protegidas. Se mantiene una exclusión efectiva en la mayor parte del sistema restaurado.
5	>80 - 100%	El ingreso de ganado ha sido eliminado casi en un 100%. El sistema PRBD opera con un control territorial efectivo sobre esta amenaza estructural clave.

El cuadro 29 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Control de ganado”, basado en el porcentaje de parcelas sin evidencias respecto al ingreso de ganado a los sitios en restauración. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde todas las parcelas presentan signos de perturbación por ganado, lo que indica una falta total del control y nula efectividad de los cercos, y, por ende, limitaciones graves al proceso de restauración. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una alta presencia de ganado hasta una presencia moderada, con un control parcial del ingreso y un ganado aún presente en gran parte de los sitios en restauración. Los niveles 4 y 5 indican una reducción significativa de la presión ganadera, con una exclusión efectiva en la mayoría de las parcelas, lo que sugiere un avance hacia un control territorial total y eficaz sobre esta amenaza.

## 8) Control de invasoras

Para integrar el indicador “Control de invasoras” a la RRSE se consideró el porcentaje de parcelas cuyas ruedas se encuentran en un nivel de recuperación igual o mayor al nivel 3, el cual, si bien representa una cobertura considerable de especies invasoras, es posible el establecimiento de las especies nativas y el avance de la restauración del área con su debido control de invasoras.

**Cuadro 30.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Control de invasoras” según el porcentaje de parcelas con un control efectivo de especies invasoras.

Nivel	Rango del índice promedio ponderado	Descripción
0	0%	Ninguno de los sitios se encuentra en condiciones de llevar a cabo un proceso de recuperación exitoso debido a la alta presencia de invasoras. La mayoría de los sitios se encuentra en niveles inferiores a 3.
1	>0 - 20%	Alta presión de especies invasoras sobre el PRBD. La mayoría de las parcelas se encuentra dominada por especies invasoras, con un nivel menor o igual a 3.
2	>20 - 40%	Presión significativa. El sistema muestra un control incipiente de especies invasoras, con un nivel menor o igual a 3. Se requieren acciones continuas para un buen desarrollo del PRBD.
3	>40- 60%	Una porción significativa de las parcelas muestra un control moderado de las especies invasoras, con un nivel mayor o igual a 3.
4	>60- 80%	Gran parte de las parcelas demuestran un control efectivo respecto al control de invasoras, con un nivel mayor o igual a 3. Se disminuye la competencia para el avance de la restauración.
5	>80%	La mayoría de las parcelas demuestran un control efectivo de las especies invasoras, con un nivel igual o superior al 4. La restauración ecológica se ve favorecida por las acciones de control de malezas, aumentando la probabilidad de éxito de las intervenciones.

El cuadro 30 presenta los seis niveles definidos según el porcentaje de sitios que se encuentran en un nivel igual o mayor al 3. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde ninguna de las parcelas se encuentra en condiciones de llevar a cabo un proceso de recuperación exitosa debido a la alta presión que ejercen las invasoras, con la mayoría de las parcelas en niveles inferiores al 3, en las ruedas a escala de sitio. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una alta presión de invasoras, hasta una presión

moderada, con un control incipiente o parcial, lo que requiere acciones continuas para garantizar la efectividad de las acciones de restauración en el desarrollo del PRBD. Los niveles 4 y 5 indican un alto grado de control sobre las especies invasoras, con la mayoría de las parcelas en un nivel superior a 3, lo que sugiere una reducción significativa de la amenaza y una mayor competencia para el avance de la restauración ecológica.

#### **9) Avance estructural**

Para integrar este indicador a la RRSE, se clasifican todas las parcelas monitoreadas según su nivel de aproximación conjunta en DAP y altura respecto al ecosistema de referencia, utilizando los cinco niveles definidos previamente en la RRE. Posteriormente, para construir el indicador a nivel general, se calculó el porcentaje de parcelas que alcanzaban un nivel de desarrollo estructural igual o superior al nivel 3 de la RRE. Este nivel fue definido como el punto de partida hacia una transición orientada a una estructura más compleja, caracterizada por una variabilidad intermedia de tamaños y un comienzo en la diferenciación en altura y diámetro entre los individuos. Esta condición indica que la plantación ha superado el estado inicial de homogeneidad y comienza a reflejar dinámicas estructurales propias de ecosistemas con un progreso sucesional avanzado.

Desde un punto de vista ecológico, el nivel 3 representa un umbral metodológicamente válido para identificar un avance sustantivo en la consolidación estructural, ya que este nivel permite detectar el inicio de procesos como la estratificación vertical y la diversificación del tamaño de los individuos, aspectos reconocidos como indicadores clave del progreso sucesional (Zenner y Hibbs 2000, Chazdon 2008). Estos procesos se asocian a un mayor aprovechamiento del espacio, mayor eficiencia en el uso de recursos y, a largo plazo, al restablecimiento de funciones ecológicas esenciales.

Desde una perspectiva operativa y de participación, establecer este umbral permite simplificar la interpretación de los resultados, facilitando la apropiación comunitaria del indicador.

**Cuadro 31.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Avance estructural” según el porcentaje de parcelas con desarrollo estructural igual o superior al umbral definido en la RRE.

Nivel	% de parcelas en nivel $\geq$ al umbral estructural	Descripción
0	0%	No existe avance estructural a nivel general del proyecto. Plantaciones aún en estado inicial.
1	>0 - 20 %	La mayoría de las plantaciones presenta bajo avance del desarrollo estructural. Dominan configuraciones simples y homogéneas.
2	>20 - 40 %	Se detecta un avance incipiente hacia configuraciones más complejas, aunque sigue siendo limitado y fragmentado.
3	>40- 60 %	Cerca de la mitad de las parcelas muestra estructuración intermedia. Se consolida la transición hacia condiciones más maduras.
4	>60- 80 %	La mayoría de las parcelas presenta estructuras bien desarrolladas. Se consolida un patrón organizativo heterogéneo.
5	>80 %	El avance estructural se ha consolidado de forma generalizada. El programa ha alcanzado valores cercanos al ecosistema de referencia.

El cuadro 31 muestra los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador, expresados como rangos del porcentaje de parcelas que cumplen con el umbral estructural (Nivel 3 en la RRE, escala de sitio). El nivel 0 corresponde a una condición donde no existe un avance estructural a nivel general del proyecto, con plantaciones que se encuentran aún en un estado inicial. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una baja proporción de parcelas con desarrollo estructural avanzado, hasta una proporción moderada, representando una transición incipiente hacia configuraciones más complejas, pero aún limitadas. Por su parte, los niveles 4 y 5 indican una alta proporción de parcelas con estructuras bien desarrolladas, consolidando un patrón organizativo más heterogéneo y aproximándose así a las condiciones observadas en el ecosistema de referencia.

### 10) Calidad de agua

Para el indicador “Calidad de agua”, el proceso de construcción de niveles en la RRSE se basó en el porcentaje promedio anual de cumplimiento normativo de los análisis fisicoquímicos del agua de consumo, conforme a los parámetros establecidos en la normativa chilena NCh 409/2. Esta información fue consolidada a partir de los informes mensuales emitidos por laboratorios acreditados. A nivel programático, se calculó el cumplimiento promedio anual considerando todas las fuentes de abastecimiento asociadas al sistema APR. En base a este valor, se definieron los 5 niveles que permiten interpretar el grado de avance hacia un estándar óptimo de calidad del agua, incorporando la estabilidad sanitaria del recurso hídrico en el tiempo como un componente clave para la sostenibilidad del proceso restaurativo.

**Cuadro 32.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Calidad del agua” según el cumplimiento porcentual de la normativa sanitaria anual.

Nivel	Criterio específico	Descripción
0	0%	No existe cumplimiento sanitario. Calidad de agua por debajo de los estándares, uso inadecuado para consumo humano.
1	Cumplimiento promedio anual > 0 - 59 %	El agua presenta incumplimientos sanitarios reiterados. Riesgo alto para el consumo humano. Cumplimiento entre 1 a 7 meses en el año
2	Cumplimiento entre 60-79 %	Cumple algunos meses (7 – 9), pero con fallas frecuentes. Alta inestabilidad en la calidad del recurso.
3	Cumplimiento entre 80-89 %	La mayoría de los meses (10 meses) se cumple la norma, aunque persisten episodios puntuales de incumplimiento.
4	Cumplimiento entre 90-97 %	Calidad del agua generalmente estable, con cumplimiento sostenido en casi todo el año (11 meses).
5	Cumplimiento $\geq$ 98 %	Cumplimiento normativo sostenido y prácticamente continuo, los 12 meses del año. Seguridad sanitaria consolidada.

El sistema de niveles definido para el indicador “Calidad del agua” (cuadro 32) establece una escala ordinal progresiva basada en la frecuencia anual de cumplimiento de la normativa sanitaria. El nivel 0 representa la ausencia total respecto a la seguridad hídrica, presentando condiciones inadecuadas para el consumo humano durante todo el año. Los niveles del 1 al 3 reflejan un estado de inestabilidad recurrente, caracterizado por episodios frecuentes de incumplimiento y una protección insuficiente hacia el recurso. Por último, los niveles 4 y 5 indican una estabilidad en la calidad del agua que se sostiene durante el año, presentando cumplimiento continuo, lo que sugiere una consolidación del acceso seguro al recurso hídrico.

### 11) Cantidad de agua

Para este indicador la construcción de niveles se basa en el estándar mínimo establecido por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), que define 0,1 litros por segundo por persona (L/s/persona) como umbral de referencia para un suministro adecuado en contextos rurales. A partir de este parámetro técnico, se definieron los cinco niveles que representan distintos grados de suficiencia hídrica en función del caudal disponible por persona.

La escala propuesta busca orientar la interpretación del indicador en futuras aplicaciones del sistema de monitoreo, permitiendo evaluar si la disponibilidad de agua resulta adecuada tanto para el consumo humano como para el desarrollo de actividades productivas y de restauración ecológica

asociadas al PRBD. De este modo, el diseño de los niveles se concibe como una herramienta metodológica que, sin ser aplicada en esta investigación, ofrece una referencia clara para su eventual implementación comunitaria.

**Cuadro 33.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Cantidad de agua” según la disponibilidad hídrica per cápita en el sistema APR.

Nivel	Disponibilidad hídrica (L/s/persona)	Descripción
0	0,00	Escasez hídrica. No existe disponibilidad hídrica a partir de la captación de la microcuenca.
1	> 0,00 - 0,05	El caudal disponible es crítico. No se asegura el acceso básico al agua para consumo o riego. Riesgo severo para la sostenibilidad del proceso.
2	0,05 - < 0,08	El sistema presenta una disponibilidad insuficiente. Se requiere monitoreo y acciones correctivas.
3	0,08 - < 0,10	Disponibilidad cercana al mínimo normativo. Puede sostener el proceso, pero con vulnerabilidad ante variaciones estacionales.
4	0,10 - < 0,13	Se cumple el estándar mínimo y se dispone de margen de seguridad de 0,3 L/s/persona. Condición favorable para las actividades del PRBD.
5	≥ 0,13	Alta disponibilidad hídrica. El sistema APR supera el estándar y sostiene con holgura el proceso de restauración.

El cuadro 33 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Cantidad de agua”, basado en la disponibilidad hídrica per cápita en el sistema de captación del APR. El nivel más bajo, el nivel 0, corresponde a una condición de escasez hídrica, donde no existe disponibilidad de agua desde la microcuenca captadora del APR, lo que compromete gravemente el acceso básico al recurso, presentando limitaciones graves a la funcionalidad del sistema. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una disponibilidad insuficiente hasta una cercana al mínimo normativo establecido, presentando vulnerabilidad ante variaciones estacionales y una necesidad de monitoreo continuo. Los niveles 4 y 5 indican una alta disponibilidad hídrica, con un sistema que supera el estándar mínimo y sostiene satisfactoriamente la integridad del proceso.

## 12) Disponibilidad de agua

El indicador disponibilidad de aguas se construyó a partir del porcentaje de la población local efectivamente abastecida por el sistema APR, en relación con el total de población objetivo del territorio. Para ello, se utilizará el número de personas que efectivamente se encuentran beneficiadas según los

registros del comité APR y se contrastó con la proyección de población objetivo. Los niveles de la rueda se definieron mediante rangos porcentuales de cobertura, los cuales reflejan grados progresivos de avance hacia una cobertura total del sistema. Esta estructura se utiliza para interpretar si el sistema de abastecimiento está avanzando hacia una provisión equitativa y universal del recurso hídrico, o si aún persisten brechas que limitan su función como soporte social y ecológico del proceso de restauración.

**Cuadro 34.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Disponibilidad de agua” según el porcentaje de cobertura de la población objetivo por parte del sistema APR.

Nivel	Cobertura del sistema APR (% población objetivo)	Descripción
0	0%	No existe cobertura. El APR no es capaz de sustentar el recurso hídrico para la comunidad.
1	< 40 %	Cobertura crítica. Gran parte de la población no accede al recurso hídrico.
2	40 % - < 60 %	Cobertura insuficiente. Se detectan brechas importantes en la provisión del recurso. Requiere ampliación o ajustes.
3	60 % - < 80 %	Cobertura intermedia. El sistema APR abastece a la mayoría, pero aún presenta barreras para una provisión equitativa.
4	80 % - < 95 %	Cobertura adecuada. El sistema abastece a casi toda la población objetivo, con márgenes de mejora.
5	≥ 95 %	Cobertura ideal. El sistema APR asegura el acceso al recurso hídrico para prácticamente a toda la población objetivo.

El cuadro 34 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador Disponibilidad de agua, basado en el porcentaje de cobertura de la población objetivo por parte del sistema de captación del Área de Protección Ribereña (APR). El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existe cobertura, lo que indica que el APR no es capaz de sustentar el recurso hídrico para la comunidad. Los niveles 1 a 3 reflejan una progresión desde una cobertura crítica hasta una intermedia, con brechas importantes en la provisión del recurso y necesidad de ajustes en el sistema. Los niveles 4 y 5 indican una alta a ideal cobertura, con el sistema APR abasteciendo a casi toda la población objetivo, lo que sugiere una consolidación del acceso equitativo al recurso hídrico.

Los niveles establecidos permiten identificar distintos grados de avance hacia una cobertura completa del recurso hídrico. El nivel 0 representa un escenario crítico, donde no existe cobertura poblacional y alto riesgo de exclusión. A medida que se avanza en la escala, los niveles intermedios indican mejoras progresivas, aunque aún con brechas operativas. Finalmente, el nivel 5 corresponde a una situación donde el APR asegura el acceso al recurso para la gran mayoría de la población objetivo, reflejando un sistema robusto y equitativo en su función social.

### 13) Participación comunitaria

Para este indicador se utilizó el Índice de Participación Comunitaria (IPC), construido mediante la normalización y combinación del número de socios/as participantes en actividades del PRBD y el total de socios/as activos del APR. Este valor se utilizará para evaluar el grado de involucramiento comunitario tanto en el monitoreo, como en el PRBD. Se definieron los niveles a partir de rangos del índice, con el fin de representar de manera estandarizada el avance del componente participativo del programa, desde situaciones de baja vinculación hasta condiciones de participación activa y sistemática.

**Cuadro 35.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Participación comunitaria” según el porcentaje de socios del APR involucrados activamente en el proceso restaurativo.

Nivel	IPC	Descripción
0	0%	No existe participación comunitaria. Las iniciativas promovidas no se encuentran apoyadas por la comunidad.
1	0-20 %	Participación mínima o ausente. El proceso es percibido como externo y sin apropiación local.
2	>20-40 %	Baja participación. Involucramiento inicial, pero aún limitado a ciertos grupos.
3	>40-60 %	Participación moderada. La comunidad se involucra parcialmente en las actividades.
4	>60-80 %	Alta participación. Mayoría de los socios muestra compromiso activo con el proceso.
5	>80%	Participación plena. El proceso de restauración es asumido colectivamente por la comunidad.

El cuadro 35 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Participación comunitaria”, basado en el porcentaje de socios involucrados en el PRBD. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existe participación comunitaria, con iniciativas promovidas que no encuentran apoyo ni apropiación local. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una participación mínima hasta una moderada, con un involucramiento parcial y limitado. Los niveles 4 y 5 indican una alta participación y una participación casi total, respectivamente, con un compromiso activo de la mayoría de los socios involucrados y una aceptación e integración colectiva del proceso de restauración como parte de su dinámica organizativa.

#### 14) Capacitación local

La construcción de niveles para este indicador se basó en el porcentaje de socios/as del APR que han participado en instancias formativas vinculadas al monitoreo participativo del PRBD, tales como talleres o cursos comunitarios. Se calcula como la razón entre el número de socios/as capacitados y el total de socios/as registrados. Valor que se interpretó como indicador de apropiación técnica y sostenibilidad del sistema de monitoreo participativo.

Los niveles se definieron en intervalos regulares, permitiendo reflejar el avance en términos de capacidades locales para aportar técnicamente al PRBD.

**Cuadro 36.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Capacitaciones” según el porcentaje de socios/as formados.

Nivel	% de socios/as capacitados	Descripción
0	0%	Ninguno de los socios ha recibido formación para apoyar el proceso de restauración. Total dependencia externa en el proceso, se hace urgente la capacitación.
1	0-20%	La mayoría de los socios no ha recibido formación. Riesgo alto de dependencia técnica externa.
2	>20-40%	Algunas personas capacitadas, pero la base comunitaria formada sigue siendo limitada.
3	>40-60%	Base formativa intermedia. Se consolida un núcleo inicial de socios capacitados.
4	>60-80%	La mayoría de los socios ha recibido formación básica. Buena capacidad instalada.
5	>80-100%	Formación generalizada. Amplia autonomía comunitaria para ejecutar y sostener el monitoreo.

El cuadro 36 presenta cinco niveles según el porcentaje de socios/as capacitados. El nivel 0 corresponde a una condición donde no existe ningún tipo de capacitación, lo que indica una total dependencia externa del PRBD y una urgente necesidad de fortalecer las capacidades locales. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una baja formación comunitaria, hasta una formación moderada, destacando un núcleo inicial de personas capacitadas, sin embargo, aún limitado en alcance territorial. Los niveles 4 y 5 indican una alta y generalizada capacitación, con la mayoría de los socios capacitados

respecto a una formación básica y estratégica del monitoreo al PRBD, consolidando de esta forma una amplia autonomía comunitaria para ejecutar y sostener el monitoreo.

### 15) Aceptación social

Para este indicador se utilizó el mismo valor porcentual empleado para participación comunitaria, pero aplicado a la población general de la comunidad, no solo a los socios del APR. Para esto se calcula el porcentaje de personas que participan durante el año en actividades del PRBD, tales como jornadas informativas, actividades de restauración o encuentros participativos. Para su interpretación, la aceptación social se clasificó en los 5 niveles de la rueda, mediante intervalos regulares de 20%, permitiendo analizar el grado de aceptación comunitaria del proceso.

**Cuadro 37.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Aceptación social” según el porcentaje de participación comunitaria.

Nivel	% de participación comunitaria	Descripción
0	0%	No existe aceptación social del proceso. Son necesarias campañas de motivación e inclusión comunitaria.
1	> 0-20 %	Escasa aceptación social. El proyecto es percibido como externo o poco relevante por la comunidad.
2	> 20-40 %	Participación limitada. Algunas personas se involucran, pero aún hay baja apropiación social.
3	> 40-60 %	Aceptación creciente. Se observa interés sostenido y vinculación parcial de la comunidad.
4	> 60-80 %	Buena aceptación. La comunidad valora y se involucra activamente en las acciones del PRBD.
5	> 80%	Alta apropiación social. El proceso es percibido como legítimo y relevante por la gran mayoría.

El cuadro 37 presenta los cinco niveles definidos para el indicador “Aceptación social”. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existe aceptación social del PRBD, donde se hace necesario un llamado a la participación comunitaria y la creación de incentivos motivacionales. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde una escasa hasta una creciente aceptación, con interés un más sostenido, pero aún existe una limitada apropiación del PRBD por parte de la comunidad. Los niveles 4 y 5 indican una alta y muy alta aceptación, respectivamente, con una comunidad que valora activamente el proceso y lo percibe como legítimo y relevante para la mayoría de sus miembros.

## 16) Oportunidades laborales

El indicador “Beneficios sociales” se adaptó con la finalidad de representar efectivamente el cuantificador que desea capturar, cambiando su nombre a “Oportunidades laborales” para su posterior ejecución en el PRDBD. Por lo tanto, para medir este indicador se cuantificó el número total de empleos sostenidos y nuevas oportunidades laborales generadas directamente por el PRBD, ya sea mediante contrataciones, remuneraciones por actividades comunitarias, o generación de microemprendimientos asociados. Este número fue interpretado en función del tamaño del programa y de la comunidad, permitiendo su transformación en una escala ordinal aplicada a los niveles de la rueda, en intervalos regulares de 20%, los cuales reflejan la capacidad del PRBD y del APR para generar impactos económicos positivos en su territorio.

**Cuadro 38.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Oportunidades Laborales” según el porcentaje de socios/as beneficiados con empleo derivado del PRBD.

Nivel	Porcentaje de socios/as beneficiados con empleo derivado del PRBD	Descripción
0	0%	No existen oportunidades laborales ligadas al PRBD. La integración de la comunidad en el proceso es extremadamente limitada.
1	>0 - 20 %	El programa genera un impacto económico muy limitado, sin una integración efectiva de los socios/as en actividades remuneradas.
2	20 - 39 %	Algunos socios/as han accedido a oportunidades laborales, pero el efecto económico del programa sigue siendo marginal.
3	40 - 59 %	El PRBD genera empleos para una proporción moderada de la comunidad, evidenciando un impacto económico parcial.
4	60 - 79 %	El programa sostiene oportunidades laborales para la mayoría de los socios/as, consolidando su rol como motor económico local.
5	≥ 80 %	El PRBD genera un impacto económico amplio y equitativo, con alta inclusión de los socios/as en empleos asociados al proceso restaurativo.

Los niveles definidos para el indicador “Oportunidades laborales” (cuadro 38) permiten interpretar el grado de inclusión económica generado por el PRBD. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existen oportunidades laborales vinculadas al PRBD, lo que indica una ausencia total de impacto económico directo para comunidad. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión desde un impacto económico muy limitado hasta uno moderado, con una participación parcial de los socios en actividades laborales generadas por el proceso, pero aún esporádicas. Los niveles 4 y 5 indican una alta a muy alta generación de empleo, con un impacto económico amplio y más equitativo, lo cual

evidencia una contribución significativa del PRBD al desarrollo socioeconómico local y por ende, una mayor apropiación territorial del proceso.

### 17) Desarrollo de políticas locales

La construcción de este indicador se basó en el número de convenios establecidos anualmente y el porcentaje de cumplimiento de estos mismos. Esta información se consolidó en un índice de desarrollo de políticas locales, que permitió medir el grado de institucionalización del PRBD. Los niveles se construyeron a partir de umbrales definidos para dicho índice, representando desde situaciones incipientes hasta escenarios de institucionalización consolidada.

**Cuadro 39.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Desarrollo de políticas locales” según el cumplimiento de convenios establecidos.

Nivel	Criterio específico	Descripción
0	0% de los convenios han sido cumplidos	La base normativa del proceso es deficiente, el cumplimiento de los acuerdos establecidos es nulo.
1	≤ 15 % de los convenios establecidos han sido cumplidos	La institucionalización del proceso es deficiente. La mayoría de los acuerdos no se respetan o no se han implementado.
2	16-39 % de los convenios establecidos han sido cumplidos	Existen avances iniciales en la formalización, pero con baja capacidad de implementación efectiva.
3	40-69 % de los convenios establecidos han sido cumplidos	El proceso cuenta con una base normativa en expansión, aunque con cumplimiento aún parcial o variable.
4	70-89 % de los convenios establecidos han sido cumplidos	La mayoría de los acuerdos firmados se ha implementado correctamente, reflejando una apropiación comunitaria creciente.
5	≥ 90 % de los convenios establecidos han sido cumplidos	El PRBD presenta un alto nivel de cumplimiento de acuerdos, lo que evidencia su consolidación como política local efectiva.

El cuadro 39 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Desarrollo de políticas locales”, basado en el cumplimiento de convenios establecidos. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no se ha cumplido ninguno de los convenios establecidos entre socios y el APR, lo que indica una base normativa deficiente y una falta de institucionalización del proceso. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión que va desde un bajo porcentaje de cumplimiento de los acuerdos, hasta un cumplimiento más bien moderado, donde se observan avances iniciales en la formalización del PRBD, pero aún con una baja capacidad de cumplimiento. Los niveles 4 y 5 indican un alto grado de cumplimiento de los convenios, con una apropiación comunitaria creciente y una consolidación del proceso a nivel comunitario.

## 18) Conectividad social externa

La construcción de niveles para el indicador “Conectividad Social externa” se basó en el desarrollo de un índice específico: el Índice de Conectividad Social Institucional (ICSI). Este índice sintetiza dos dimensiones clave del proceso de articulación comunitaria con actores externos: la frecuencia de actividades de vinculación y la diversidad de organizaciones conectadas. Cada una de estas dimensiones se transformó a una escala común de 0 a 1 mediante un escalamiento lineal de rangos, permitiendo su comparación y agregación posterior.

El cálculo del ICSI se hace mediante la siguiente formula:

[9]

$$ICSI = \frac{\left( \frac{N_{act} - N_{act.min}}{N_{act.max} - N_{act.min}} \right) + \left( \frac{N_{org} - N_{org.min}}{N_{org.max} - N_{org.min}} \right)}{2}$$

Donde:

- $N_{act}$  = número de actividades realizadas con organismos externos.
- $N_{org}$  = número de organizaciones vinculadas.
- $N_{act.max}, N_{org.max}$  = valores máximos previamente definidos.
- $N_{act.min}, N_{org.min}$  = valores mínimos previamente definidos.

La elección de este método responde a la necesidad de integrar variables de distinta naturaleza en un único valor continuo, coherente con la lógica de la RRSE. Ambos componentes fueron ponderados de forma equitativa y combinados mediante un promedio simple, lo que entrega un valor final del ICSI también expresado entre 0 y 1.

Para garantizar la representatividad contextual del índice, los valores máximos y mínimos utilizados en la normalización fueron definidos mediante un proceso participativo en la comunidad de Mashue, considerando:

- Datos históricos del PRBD sobre actividades externas y organizaciones vinculadas;
- Proyecciones realistas del alcance organizativo anual (hasta 25 actividades y hasta 10 organizaciones);

- Validación con el equipo técnico.

La metodología utilizada favorece además la comprensión y apropiación comunitaria del indicador, ya que la escala de 0 a 1 se alinea directamente con el diseño visual y comunicativo de la Rueda. En base a esto se establecieron los cinco niveles ordinales para la RRSE.

**Cuadro 40.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Índice de conectividad social externa” según el rango del ICSI.

Nivel	Rango del ICSI	Descripción
0	0	El proceso de restauración es completamente interno, sin vínculos externos. No hay registros de actividades ni articulaciones institucionales. La comunidad trabaja de forma aislada.
1	>0.00 - 0.20	Se registran los primeros contactos incipientes con actores externos, generalmente de carácter informal y sin continuidad en el tiempo. La comunidad comienza a tener presencia mínima en espacios externos, pero aún no existen actividades conjuntas ni vínculos estables.
2	0.21 - 0.40	Existen interacciones puntuales con organizaciones, pero sin continuidad ni planificación estratégica. Las conexiones externas son esporádicas o reactivas.
3	0.41 - 0.60	La comunidad ha logrado establecer vínculos con varias organizaciones y realiza algunas actividades conjuntas al año. Comienza a consolidarse una red básica de apoyo.
4	0.61 - 0.80	La articulación con instituciones externas es frecuente y diversa. Se participa activamente en instancias de colaboración y el proceso de restauración comienza a ser reconocido a nivel territorial.
5	0.81 - 1.00	La comunidad actúa como un nodo articulador. Es reconocida públicamente como referente en restauración, participa en redes territoriales y mantiene una colaboración estratégica con múltiples actores externos de forma sostenida.

El cuadro 40 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Índice de conectividad social externa”, basado en el rango de los valores obtenidos para el ICSI. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde el PRBD es completamente interno, sin vínculos con actores o instituciones externas, lo que indica una operación aislada y sin apoyo institucional. Los niveles 1 a 3 reflejan una progresión desde contactos informales e incipientes hasta la consolidación de vínculos con organizaciones externas, con actividades conjuntas, pero aún sin una continuidad ni planificación estratégica consolidada. Los niveles 4 y 5 indican una alta conectividad social, con articulación frecuente y diversa con instituciones externas, participación activa en redes territoriales, lo que sugiere una integración estratégica sostenida, con múltiples niveles de organización y actores involucrados.

### 19) Área en restauración

Este indicador evalúa el grado de avance territorial del PRBD en función del cumplimiento de su meta, la cual corresponde a cumplir con un total de 370 hectáreas en proceso de restauración. El indicador

se basa en el número acumulado de hectáreas intervenidas mediante plantación de especies nativas, registradas anualmente por el Comité APR Mashue y asociadas a los convenios del programa.

La construcción de los niveles se basó en el porcentaje de cumplimiento de dicha meta, utilizando intervalos ordinales regulares para facilitar su interpretación. El uso de esta métrica permite reflejar el estado general del proceso de restauración desde una perspectiva espacial, vinculada al nivel de cobertura y expansión territorial alcanzada por el PRBD.

A diferencia de otros indicadores ecológicos más asociados a procesos funcionales o estructurales, el indicador de Área plantada entrega información relevante sobre la escala y alcance del programa, funcionando como una dimensión basal del esfuerzo restaurativo. Su inclusión en la RRSE responde a la necesidad de evaluar también el componente de implementación programática, aspecto importante para la planificación estratégica y la rendición de cuentas comunitaria.

Los cinco niveles definidos permiten clasificar el estado del programa desde una restauración inexistente hasta una restauración ampliamente implementada otorgando una medida clara y comunicable del avance hacia la meta total.

**Cuadro 41.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Área en restauración” según el porcentaje de la meta de 370 hectáreas alcanzada.

Nivel	% de la meta de 370 ha alcanzado	Descripción
0	0%	Proceso de restauración previo a su implementación. No existen plantaciones con objetivos de restauración.
1	> 0 - 20 %	Etapas inicial del programa; restauración incipiente sin consolidación territorial.
2	20 % - 39 %	Avance parcial. La expansión territorial del PRBD comienza a tener una cobertura importante.
3	40 % - 59 %	Cumplimiento intermedio; el proceso se encuentra en fase de desarrollo sostenido.
4	60 % - 79 %	Fuerte consolidación territorial; la restauración avanza con alto grado de cobertura.
5	≥ 80 %	Restauración ampliamente implementada; proceso cercano a la meta total de 370 ha.

El cuadro 41 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Área en restauración”, basado en el porcentaje de la meta de 370 hectáreas alcanzada. El nivel 0 corresponde a una condición previa a las intervenciones del PRBD, donde no existen plantaciones con objetivos de restauración. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión que va desde una etapa inicial, hasta un

cumplimiento intermedio de la meta establecida, con una expansión territorial limitada y sin consolidación. Los niveles 4 y 5 indican una consolidación fuerte a nivel territorial, con una cobertura ampliamente implementada y un avance significativo hacia la meta total establecida que equivale a un total de 370 hectáreas en proceso de restauración.

## **20) Estratos**

Este indicador evalúa el grado de diferenciación vertical del sistema restaurado, a partir de la presencia simultánea de al menos dos estratos definidos (herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras) dentro de las parcelas monitoreadas. Su integración a nivel de programa permite interpretar el estado general de la complejidad estructural de los sitios en restauración.

Para su integración en la rueda, se utiliza la información previamente analizada en la RRE, donde el nivel 3 representa el umbral de transición hacia una configuración más compleja, caracterizada por la presencia de los estratos herbáceo, arbustivo y un estrato arbóreo aún en formación. A partir de este umbral, se clasifican todas las parcelas en base a si alcanzan o no dicho nivel. Posteriormente, se calculó el porcentaje de parcelas que presentaban al menos dos estratos definidos (nivel  $\geq 3$  en la RRE). Este valor fue utilizado como medida sintética del grado de avance estructural del sistema en términos de estratificación vertical.

Esta estrategia se basa en dos principios complementarios. Desde el punto de vista ecológico, el nivel 3 de la RRE representa el inicio del proceso de consolidación estructural, momento clave en el que comienzan a establecerse interacciones funcionales entre distintos estratos, como el sombreado, la retención de humedad y el soporte para la avifauna. Desde una perspectiva participativa, la presencia de múltiples estratos es fácilmente observable y comprensible por los socios del APR, lo que permite vincular el monitoreo técnico con una lectura comunitaria del proceso de restauración.

**Cuadro 42.** Niveles de recuperación definidos para el indicador “Estratos” según el porcentaje de parcelas con al menos dos estratos establecidos.

Nivel	% de parcelas con $\geq 2$ estratos establecidos (nivel $\geq 3$ RRE)	Descripción
0	0%	No existen individuos que representen un estrato.
1	> 0 - 20 %	El sistema de plantaciones carece de desarrollo vertical funcional. La estructura es aún incipiente y homogénea, limitando la provisión de hábitats y funciones ecológicas clave.
2	> 20 - 40 %	Se observan primeros indicios de estratificación en algunas parcelas, pero el desarrollo vertical sigue siendo limitado y no generalizado.
3	> 40 - 60 %	Una proporción relevante de las plantaciones presenta al menos dos estratos definidos. El sistema comienza a ganar complejidad estructural.
4	> 60 - 80 %	La mayoría de las parcelas monitoreadas muestra una estratificación funcional clara, con implicancias positivas para la biodiversidad y la resiliencia del sistema.
5	> 80 %	El desarrollo vertical está ampliamente consolidado en el PRBD, reflejando una maduración estructural sostenida en las plantaciones restaurativas.

El cuadro 42 presenta los cinco niveles de recuperación definidos para el indicador “Estratos”, basado en el porcentaje de parcelas con al menos dos estratos establecidos en función de la RRE, a escala de sitio. El nivel 0 corresponde a una condición crítica donde no existen individuos formando un estrato establecido, lo que indica la ausencia total en cuanto a estructura vertical en los sitios en restauración. Los niveles 1 al 3 reflejan una progresión que va desde una estructura incipiente, hasta una estratificación funcional parcial, donde existen evidencias crecientes de desarrollo vertical en algunas parcelas. Los niveles 4 y 5 indican una alta proporción de parcelas con una estratificación más consolidada, lo que sugiere una maduración estructural sostenida y un aumento significativo en la complejidad y resiliencia del sistema restaurado.

### Anexo 3. Resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el Ecosistema de Referencia

A continuación, se presentan los valores obtenidos a partir de las mediciones realizadas en el ecosistema de referencia:

#### A. Avance estructural: DAP y Altura

El cuadro 43 muestra los valores mínimos y máximos de DAP y altura en cada parcela del ecosistema de referencia, a partir de los cuales, se calculó la amplitud estructural conjunta, empleada como valor de referencia para el nivel 5 del indicador “Avance estructural” en la RRSE.

**Cuadro 43.** Valores de DAP y Altura de referencia para la construcción de los niveles de la rueda.

Parcela	DAP min (cm)	DAP max (cm)	Altura min (m)	Altura max (m)	Rango DAP	Rango altura
1	3.0	16.0	5.0	20.0	13.0	15.0
2	5.0	18.0	5.0	22.0	13.0	17.0
3	2.7	17.0	2.0	14.0	14.3	12.0
<b>Promedio</b>	<b>3.57</b>	<b>17.0</b>	<b>4.0</b>	<b>18.67</b>	<b>13.43</b>	<b>14.67</b>

Los resultados muestran amplitudes promedio de 13,43 cm en DAP y 14,67 m en altura. A partir de estos valores, al aplicar la fórmula establecida para este indicador, se obtuvo una amplitud estructural conjunta de referencia de 28,10, valor que fue utilizado como referencia para el nivel 5 del indicador en la RRE.

#### B. Regeneración natural de especies nativas

A continuación, en el cuadro 44 se presentan los resultados de la regeneración natural de especies nativas, expresados como número el total de especies nativas bajo dosel, categorizadas en función de su tolerancia a la sombra.

**Cuadro 44.** Composición de la regeneración natural de especies nativas según su tolerancia a la sombra, en parcelas del ecosistema de referencia.

Parcela	Nº total de especies	Intolerantes	Semitolerantes	Tolerantes
P1	12	2	7	3
P2	9	1	7	1
P3	15	3	10	2
<b>Promedio</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>

En las tres parcelas evaluadas se observó una regeneración promedio de 12 especies nativas, con una proporción predominante de especies semitolerantes (8 especies), seguidas por intolerantes (2 especies) y tolerantes (2 especies). Esta condición se utilizó como referencia para el nivel 5 del indicador en la RRE, ya que representa un sistema capaz de sostener procesos de reclutamiento en condiciones de cobertura avanzada y con especies funcionalmente relevantes en términos sucesionales.

### C. Presencia de avifauna con potencial de dispersión

A continuación, se presentan los valores obtenidos en cada parcela sobre el registro de avifauna con potencial de dispersión presentes en el ecosistema de referencia (cuadro 45). Además, se agrega la riqueza identificada durante la práctica profesional, complementando el valor final para la construcción de los niveles de este indicador.

**Cuadro 45.** Riqueza de especies registrada para establecer el nivel 5 de la RRE para el indicador “Dispersores de semillas”

Parcela	Nº de especies de avifauna dispersoras avistadas
P1	5
P2	4
P3	4
Práctica profesional	7
Riqueza total	11

La riqueza total registrada como valor de referencia corresponde a 11 especies, valor que se utilizó como referencia para la construcción de los niveles para este indicador, desde donde se definieron rangos decrecientes de presencia en función del Índice de Similitud de Sørensen.

### D. Estratos vegetales presentes

El cuadro 46, presenta la diversidad de formas de crecimiento observados en las parcelas del ecosistema de referencia, considerando cuatro categorías estructurales: herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras.

**Cuadro 46.** Diversidad de formas de crecimiento registradas en cada parcela evaluada del ecosistema de referencia para definir el nivel 5 del indicador “Estratos”.

<b>Parcela</b>	<b>Estratos presentes</b>	<b>Nº total de estratos</b>
P1	Herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras	4
P2	Herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras	4
P3	Herbáceo, arbustivo, arbóreo y enredaderas/trepadoras	4

En las tres parcelas evaluadas se registró la presencia de los cuatro estratos definidos. Por tanto, el valor de referencia para el nivel 5 del indicador “Estratificación” en la RRSE se estableció en función de los cuatro estratos presentes simultáneamente.

## Anexo 4. Lista preliminar de indicadores, criterios de selección, justificaciones que argumentan su selección y las referencias que lo respaldan.

Atributo clave	Indicador específico	Criterios técnicos aplicados	Justificación	Referencias
Superficie en restauración	Área en restauración	Pertinencia, Sensibilidad	El seguimiento del área restaurada permite evaluar el ritmo y alcance espacial de las intervenciones, facilitando la planificación adaptativa y la proyección de beneficios ecológicos y sociales. Además, sirve como indicador del esfuerzo institucional y comunitario invertido en el proceso de restauración.	Aronson <i>et al.</i> (2011)
Salud ecosistémica	Estado fitosanitario	Sensibilidad, Pertinencia	El estado fitosanitario de los individuos plantados refleja su capacidad de adaptación y resistencia a las condiciones del sitio. La presencia de síntomas permite detectar de manera temprana factores limitantes y realizar la gestión adaptativa según el desempeño observado.	Pretzsch (2009), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Dispersores de semillas	Pertinencia, Sensibilidad	La presencia de fauna dispersora de semillas indica la reactivación de interacciones ecológicas clave como la dispersión y la regeneración vegetal, esenciales para el avance sucesional. Su aumento refleja conectividad funcional y contribuye a la recolonización por especies nativas. Por el contrario, revisiones recientes señalan que la pérdida de dispersores puede alterar la composición y funcionalidad del ecosistema, subrayando su importancia en procesos de restauración.	Wenny <i>et al.</i> (2016), Gann <i>et al.</i> (2019), McConkey <i>et al.</i> (2021)
Estructura y composición de especies	Diversidad de especies vegetales nativas	Pertinencia, Comparabilidad	La diversidad de especies vegetales es un componente esencial de la integridad ecológica, ya que refleja la complejidad del ecosistema y su resiliencia frente a perturbaciones. Una mayor diversidad específica permite una mayor heterogeneidad funcional, aumentando la estabilidad ecosistémica y favoreciendo la provisión de servicios ecosistémicos	Moreno (2001) Magurran (2004), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Estratos (Diversidad de formas de crecimiento)	Pertinencia, Comparabilidad	Refleja la complejidad vertical del sistema restaurado, lo que permite evaluar el desarrollo de la estratificación vegetal. Esta diversidad estructural es fundamental para la provisión de hábitats, la regulación microclimática y la estabilidad del ecosistema, constituyendo un indicador clave del avance sucesional. Su observación permite distinguir si el sistema está progresando desde una estructura simple hacia una configuración más cercana a la de un bosque funcional, facilitando la comparación entre sitios y el ER.	Zenner y Hibbs (2000), SER (2021)
	Sucesión ecológica	Pertinencia, Comparabilidad	La sucesión ecológica permite evaluar el avance natural del ecosistema hacia estados más complejos y estables, reflejando la reactivación de procesos ecológicos clave. Su monitoreo, a través de cambios en la composición, estructura y funcionalidad del sitio, permite estimar si el sistema se está alejando de condiciones degradadas y acercando a un ecosistema de referencia. Es un indicador integral que vincula resultados ecológicos observables con la trayectoria de recuperación a mediano y largo plazo.	Chazdon (2008), Prach y Walker (2011), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Complejidad estructural (Altura y DAC)	Pertinencia, Comparabilidad, Sensibilidad	Permite detectar diferencias tempranas en el crecimiento de los individuos según condiciones microambientales, reflejando su adaptación al sitio. Esta sensibilidad permite comparar el desempeño entre especies o tratamientos, facilitando la identificación de aquellas más adecuadas para cada contexto ecológico. Su evolución en el tiempo también permite evaluar la transición hacia estructuras propias de bosques maduros, funcionando también como un indicador en el largo plazo. Ya se utiliza DAC y altura en el monitoreo actual.	McElhinny <i>et al.</i> (2005), Chazdon (2008), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Regeneración natural de especies nativas	Sensibilidad, Pertinencia, Comparabilidad	La regeneración natural de especies nativas es un indicador clave del éxito ecológico a largo plazo, ya que refleja la capacidad de los ecosistemas para mantener procesos naturales. Este proceso no solo refleja resiliencia funcional, sino que también enriquece la composición y estructura de las plantaciones, al incorporar individuos adaptados localmente. Su sensibilidad a las condiciones del sitio lo convierte en una herramienta valiosa para comparar los sitios plantados entre sí, y con el ER.	SER (2004), García <i>et al.</i> (2010) Wortley <i>et al.</i> (2013)
	Sobrevivencia	Pertinencia, Sensibilidad, Comparabilidad	La tasa de supervivencia de individuos plantados constituye un indicador directo del éxito inicial de las intervenciones de restauración ecológica. Este parámetro refleja la capacidad de las especies seleccionadas para adaptarse a las condiciones del sitio restaurado, y entrega información crítica para la retroalimentación y ajuste de las estrategias de plantación. Ya incluido en el monitoreo actual.	SER. (2019), WWF (2021)
Funcionalidad del ecosistema	Productividad primaria	Sensibilidad, Comparabilidad	La productividad primaria neta es una medida directa del flujo de energía en el ecosistema. Este indicador permite evaluar la eficiencia de la restauración en restablecer la funcionalidad ecológica. Una mayor productividad indica un ecosistema más activo y funcional.	Field <i>et al.</i> (1998), SER (2004)
	Ciclo de nutrientes	Sensibilidad, Comparabilidad	El reciclaje de nutrientes es esencial para un ecosistema funcional. Medir la presencia de nutrientes clave y las tasas de descomposición permite identificar si los procesos ecológicos están operando adecuadamente. Su alteración compromete la regeneración y estabilidad ecológica.	Vitousek y Sanford (1986), Binkley y Fisher (2013), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Calidad del suelo	Sensibilidad, Comparabilidad	El suelo constituye la base física y química del ecosistema terrestre. Su calidad condiciona la regeneración vegetal. Evaluar parámetros como el pH y la materia orgánica es clave para inferir disponibilidad de nutrientes, actividad microbiana y sostenibilidad del proceso restaurativo.	Lal (2001), Muñoz-Rojas, M. (2018), Gann <i>et al.</i> (2019)
Amenazas	Estado del cerco	Sensibilidad, Pertinencia	El buen estado del cerco es clave para asegurar la exclusión de amenazas como el ganado. Su deterioro puede facilitar perturbaciones que revierten la sucesión ecológica. Su adecuado mantenimiento favorece la regeneración natural, acelera la recuperación funcional del ecosistema y refleja el nivel de resguardo y compromiso en el manejo del área.	Morrison y Lindell (2011), Crouzeilles <i>et al.</i> (2017), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Ausencia de invasoras	Sensibilidad, Pertinencia	La presencia de especies invasoras constituye una amenaza significativa, ya que altera la dinámica ecológica, compite con nativas y modifica la trayectoria sucesional. Su monitoreo permite detectar riesgos, evaluar impactos sobre la vegetación nativa y aplicar medidas de control oportunas.	Simberloff <i>et al.</i> (2005), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Ausencia de ganado	Sensibilidad, Pertinencia	El ingreso de ganado a los sitios en restauración afecta negativamente el éxito de la restauración al provocar compactación del suelo, consumo de plántulas y degradación de la cobertura vegetal. Este indicador permite evaluar efectividad de medidas de control y realizar la gestión adaptativa de estas.	Eldridge <i>et al.</i> (2016), Gann <i>et al.</i> (2019)
Recurso hídrico	Cantidad de agua	Comparabilidad, Sensibilidad, Pertinencia	Vincula la restauración con servicios hídricos. El volumen disponible influye en la percepción de éxito del proyecto por parte de la comunidad, especialmente en contextos donde el acceso al agua es limitado o conflictivo. Además, es un indicador sensible a cambios estacionales y ambientales. a se mide desde el APR, aunque no se incluye como parte integral del monitoreo.	NCh 409/1 (2005), Villagrán <i>et al.</i> (2003)
	Calidad de agua	Sensibilidad, Pertinencia	Indica el estado ambiental del sistema hídrico y su aptitud para distintos usos. Su evaluación según la norma chilena NCh 409/1 permite estandarizar el monitoreo y detectar riesgos para la salud ecosistémica y humana. Es un indicador clave en la restauración de microcuencas. Ya se mide desde el APR, aunque no se incluye como parte integral del monitoreo.	NCh 409/1 (2005), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Disponibilidad de agua	Sensibilidad, Pertinencia	Determina la sostenibilidad del sistema de distribución. Considera tanto la cantidad como la accesibilidad y continuidad del recurso, siendo fundamental para planificaciones a largo plazo e integración con el manejo comunitario del agua. Ya se mide desde el APR, aunque no se incluye como parte integral del monitoreo.	Gann <i>et al.</i> (2019)
Gestión y gobernanza	Participación comunitaria	Pertinencia, Sensibilidad	La participación comunitaria mejora la sostenibilidad del monitoreo y la restauración al fortalecer la toma de decisiones colectivas y permitir que el conocimiento local oriente las acciones. Favorece el aprendizaje social, la construcción de confianza y el desarrollo de capital social, elementos fundamentales para la continuidad del proceso y la gobernanza compartida del territorio.	Pretty (1995), Berkes (2009), Danielsen <i>et al.</i> (2009)
	Capacitación local	Sensibilidad, Pertinencia	La capacitación local fortalece la autonomía técnica de las comunidades, mejora su capacidad de acción en el monitoreo y promueve la continuidad de los procesos restaurativos. Facilita el empoderamiento, la transmisión de saberes, y el aprendizaje adaptativo, lo que permite reducir la dependencia externa y consolidar procesos de gobernanza local.	Reed <i>et al.</i> (2008), Berkes (2009), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Aceptación social	Pertinencia, Sensibilidad	Refleja el respaldo comunitario al proyecto, incidiendo en su legitimidad, continuidad y viabilidad. Fortalece la gobernanza local al integrar conocimientos y percepciones del territorio, permitiendo una restauración alineada con valores sociales. Además, se reconoce como un criterio esencial de éxito al requerir colaboración activa de los actores locales.	Suding <i>et al.</i> (2015), Gann <i>et al.</i> (2019)
	Bienestar Social	Pertinencia, Sostenibilidad	Evalúa cómo un proyecto de restauración impacta en la calidad de vida percibida por la comunidad, incluyendo acceso a servicios básicos, salud, seguridad y bienestar emocional. Refleja el vínculo entre la restauración ecológica y el desarrollo sostenible, considerando aspectos de equidad y justicia socioambiental en territorios rurales.	Millennium Ecosystem Assessment (2005), Díaz <i>et al.</i> (2015)
	Beneficios sociales	Pertinencia, Sensibilidad	Considera los beneficios tangibles asociados al proyecto, como empleos, ingresos o servicios valorizables. Su medición permite vincular la restauración con estrategias de desarrollo territorial, fortaleciendo el tejido socioeconómico y aumentando la legitimidad y apropiación del proceso por parte de la comunidad.	Aronson <i>et al.</i> (2011), Benayas <i>et al.</i> (2005), Suding <i>et al.</i> (2015)
	Desarrollo de políticas locales	Comparabilidad, Pertinencia	Refleja el grado de institucionalización del proceso restaurativo a través de ordenanzas, convenios o normas vinculadas al proyecto. Su presencia indica que los aprendizajes y acuerdos comunitarios se han formalizado, lo cual fortalece la continuidad, la gobernanza y la posibilidad de replicar la experiencia en otros contextos.	Young (2002), SER (2009)
Conectividad social externa	Sensibilidad, Pertinencia	La variabilidad y la cantidad de interacción sostenida con actores externos amplía el acceso a recursos, conocimientos técnicos y experiencias estratégicas, fortaleciendo la capacidad de gestión local. Según estándares de restauración ecológica, una alta conectividad externa refuerza la sostenibilidad, facilita la colaboración interinstitucional y permite escalar aprendizajes en contextos más amplios. Además, se considera un atributo clave para aumentar la resiliencia organizacional y garantizar la continuidad de los procesos de restauración.	Berkes (2009), Clewell y Aronson (2013), Gann <i>et al.</i> (2019)	

Anexo 5. Planillas y bases de datos de los talleres y capacitaciones.

Cuadro 47. Planilla utilizada para el taller 1 de evaluación y selección de indicadores.

Tipo de Indicador	Indicador	Pertinencia Social			Criterios limitantes				Observaciones
		Vinculo Social	Comprensión del indicador	Impacto percibido	Capacida d técnica	Tiempo disponible	Conocimiento especializado	Recursos económicos	
Ecológico	Diversidad de especies								
	Cobertura vegetal								
	Estructura de la vegetación								
	Sucesión ecológica								
	Productivida d primaria								
	Calidad del suelo								
	Ciclo de nutrientes								
	Hidrología								
	Interaccione s bióticas								
	Estado fitosanitario								
	Regeneració n natural								
	Amenazas								
	Sobrevivenc ia								
	Social	Participació n comunitaria							
Capacitació n local									
Bienestar social									
Aceptación social									
Beneficios sociales									
Desarrollo de políticas locales									
Conectivida d social externa									

**Cuadro 48.** Base de datos de las respuestas obtenidas en las encuestas aplicadas en las capacitaciones.

Sección	Pregunta	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8		P9		P10		
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	
1	1	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	3	4	
	2	5	5	2	5	4	5	3	5	4	5	2	4	4	4	1	3	3	5	2	4	
	3	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	2	5	4	4	1	3	4	5	3	4	
	4	4	5	2	4	3	5	1	5	5	5	2	3	5	4	1	4	5	5	4	4	
	5	5	5	2	5	3	5	4	5	4	5	1	5	4	5	2	4	3	4	4	4	
	6	5	5	4	5	2	4	3	5	5	5	2	5	4	5	2	3	3	5	3	3	
	7	5	5	5	5	3	5	4	5	4	5	4	4	4	5	1	3	4	5	4	5	
	8	5	5	2	5	3	5	3	4	5	5	5	5	5	4	5	1	4	5	5	4	4
	9	5	5	3	5	2	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	1	3	4	5	4	4
	10	5	5	4	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	1	3	4	5	4	4
2	1	5	5	3	5	3	5	5	5	4	5	3	5	4	5	1	5	3	5	5	5	
	2	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	4	5	4	5	1	5	3	5	5	5	
	3	4	5	4	5	3	4	4	5	4	5	3	4	4	5	2	4	3	5	4	5	
	4	4	5	5	5	4	4	4	5	4	5	3	5	4	5	2	5	2	5	4	5	
	5	3	5	4	5	2	4	4	5	4	5	2	3	4	5	2	5	2	4	3	5	
	6	3	5	3	4	2	4	4	5	4	5	2	4	5	5	1	4	2	4	4	5	
3	1	3	5	4	4	3	4	5	5	2	5	2	3	5	5	1	5	4	5	3	5	
	2	3	5	4	5	2	5	4	5	3	5	3	4	4	5	2	4	3	5	5	5	
	3	3	5	4	5	2	5	4	5	3	5	1	5	4	5	1	4	2	4	3	5	
	4	2	5	4	5	3	5	5	5	3	5	1	5	4	5	4	5	2	4	3	5	
	5	2	5	4	5	2	4	4	5	3	4	1	2	4	4	4	4	2	5	3	4	
	6	1	5	1	4	3	5	4	5	4	5	3	5	4	5	4	5	4	5	4	5	
	7	1	5	1	5	3	5	5	5	4	5	5	5	3	5	2	4	3	4	5	5	
	8	3	5	4	5	3	5	4	5	4	5	1	3	4	4	5	5	2	5	3	5	
	9	2	5	3	4	2	5	3	4	3	5	5	5	4	4	5	5	3	5	3	5	
	10	3	5	4	5	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	
	11	2	5	1	5	3	4	3	5	5	5	1	5	3	4	2	5	2	5	4	5	
	12	3	5	4	4	3	5	4	5	5	5	3	4	4	4	4	5	2	5	4	5	
	13	4	5	4	5	2	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	4	5	

**Anexo 6.** Proceso de talleres participativos y capacitaciones para el desarrollo del diseño del sistema de monitoreo participativo para el “Proceso de Recuperación de Bosques Degradados en Mashue”.



Imagen 1. Registros de las capacitaciones en terreno para la instalación de parcelas y toma de datos.



Imagen 2. Aplicación de encuesta previo a la capacitación.



Imagen 2. Taller de evaluación y selección de indicadores para el sistema de monitoreo participativo del proceso de recuperación de bosques degradados en Mashue.



Imagen 3. Aplicación del modelo actual de monitoreo implementado por el equipo técnico a cargo del PRBD. Experiencia durante la práctica profesional

**Anexo 7.** Material de apoyo desarrollado para la implementación de las capacitaciones y que apoyarán la futura implementación del diseño de monitoreo creado.



Imagen 4. Tríptico diseñado para guiar la instalación de parcelas de monitoreo permanente.



Imagen 5. Tríptico diseñado para guiar el monitoreo de las parcelas.



Imagen 6. Material tipo abanico de los indicadores para el monitoreo de las parcelas de Mashue.



Imagen 7. Guía de bolsillo la identificación especies en terreno, compuesto por las principales especies utilizadas en las plantaciones del PRBD.

**Anexo 8.** Bases de datos del muestreo realizado en el ecosistema de referencia.

**Cuadro 49.** Registro de la base de datos para los valores de referencia del indicador “Dispersores de semillas”.

P1	P2	P3	PP
Hued Hued	Hued Hued	Hued Hued	Cachudito
Zorzal	Chincol	Loico	Loica
Chincol	Loica	Chincol	Zorro
Fio Fio	Cometocino	Tenca	Cometocino
Cometocino			Tenca
			Chercan
			Torcaza

**Cuadro 50.** Registro de la base de datos para los valores de referencia del indicador “Avance estructural”.

N°	P1			P2			P3		
	Especie	DAP	Altura	Especie	DAP	Altura	Especie	DAP	Altura
1	Co	10	20	Co	7	10	Co	10	11
2	Co	6	9	Co	10	13	Co	10	14
3	Co	6	9	Co	7	7	Av	3.2	2
4	Ra	8	8.5	Co	8	9.3	Co	7.5	10
5	Co	9	11	Co	12	15	Co	7	11.5
6	Ro	11	12	Ra	8	6	Co	7	9.3
7	Co	7	8	Co	12	11	Co	7.3	7.6
8	Co	4.7	10.8	Ro	6	5	Co	8	8.7
9	Co	7	6	Co	11	12	Av	9.6	4
10	Co	7	9	Ra	7	5	Co	11.7	11
11	Co	14	14	Co	12	14.5	Co	8	13.7
12	Ro	5.5	6.6	Co	9	12	Ro	12	6.5
13	Co	14	12	Co	13	14.5	Ra	17	14
14	Ra	10	7.7	Co	11	14	Ro	10	6.2
15	Co	12	18.5	Ra	6	7	Av	4.7	3
16	Ra	9	10.8	Ra	7	5.5	Av	4.5	3.5
17	Ra	15	16.8	Co	7	11	Av	3.5	3
18	Co	6.5	6.5	Co	10	12	Av	4.7	3.4
19	Co	10	14	Co	5	6.3	Co	8	9
20	Co	8	9.9	Co	10	13	Av	3.2	3
21	Co	8.5	11	Co	10	11	Av	3	3.5
22	Ra	7	10.5	Co	11	10.9	Ro	8	7.3
23	Ro	11	8.4	Co	10	11.3	Av	3	3.6
24	Ro	9	16.5	Ro	11	12	Av	3	4.1
25	Co	7	12.7	Ro	11	12.5	Co	10	9.3
26	Co	16	20.5	Co	9	8	Av	2.4	6
27	Co	10	8.5	Co	15	13	Co	11	8.3
28	Co	10	8	Co	16	14.3	Co	10	8
29	Co	7	7	Co	9	10	Co	8	12.7
30	Co	9	8.4	Co	9	7	Ra	11.5	7.5
31	Co	9	10	Co	8	8	Av	3.8	3.3
32	Ra	6.7	7.5	Co	9	8.5	Av	4.6	4.4
33	Ra	8	8	Co	9	8.5	Av	3.6	4
34	Ra	7	8	Ra	11	8.2	Co	9	11.4
35	Ra	7.5	7	Ra	11	9	Ra	9.4	8
36	Co	10	12	Ra	9.8	8.5	Av	4	3.5
37	Co	10	12.5	Co	8.5	10.9	Ro	9	8.2
38	Co	8.5	16	Co	8.5	11	Ro	8.3	7
39	Ra	8	12	Co	11	9	Ra	11	8.5
40	Co	5	6.5	Ra	18	11	Av	3.7	6.6
41	Co	4	6	Ro	6	7	Av	3	4.8
42	Co	12	10	Co	9	10	Co	11	12.5
43	Ra	3	5	Co	8	8.7	Co	13	16.5
44	Co	12	9.5	Co	12.5	13	Co	11	9
45	Co	11	15	Ro	11	12.3	Av	2,7	3
46	Co	11	8	Co	17	22.4			
47	Co	13.5	11	Co	12	22			
48	Co	7.5	9	Ro	7.5	8.4			
49				Co	11	21			
50				Ra	12	22			
51				Co	7.5	8.4			
52				Co	11	21			

**Cuadro 51.** Registro de la base de datos para los valores de referencia del indicador “Regeneración natural nativa”.

P1		P2		P3	
Especie	Cantidad	Especie	Cantidad	Especie	Cantidad
Avellanillo	1	Maqui	24	Ulmo	11
Maqui	35	Chilco	4	Maitén	4
Zarza	8	Tepa	6	Arrayan	3
Ulmo	4	Avellanillo	4	Maqui	36
Patagua	4	Lingue	4	Chilco	5
Tepa	14	Huella	3	Tineo	3
Lingue	1	Mático	1	Tiaca	4
Chilco	1	Corcolén	1	Ulmo	4
Azara	1	Zarzaparrilla	1	Lingue	8
Meli	6			Arrayán macho	6
Radal	1			Patagua	4
Matico	1			Avellanillo	2
				Tepa	1
				Zarzaparrilla	1
				Matico	1



## **Anexo 10.** Protocolo operativo del Diseño del Sistema de Monitoreo Participativo del PRBD

### Unidad de monitoreo

Se establece una parcela permanente de monitoreo por cada plantación del PRBD, es decir cada predio tiene una unidad de muestreo a cargo del propietario. Estas parcelas adoptan el diseño circular de 500 m<sup>2</sup>, manteniendo el formato previamente establecido por el equipo técnico del APR.

### Frecuencia de monitoreo

Se definió una frecuencia de monitoreo mínima de una vez al año, recomendando que las mediciones se realicen entre los meses de marzo y abril. Este periodo fue propuesto en conjunto con el equipo técnico del APR, ya que permite evaluar las plantaciones tras el periodo más crítico del año (el verano), capturando de forma más representativa el estado post-estrés ambiental.

### Instrumentos de registro y archivo

Se diseñaron planillas impresas para la toma de datos en terreno, las que fueron y serán entregadas en carpetas individuales a cada socio/a que participe/ó del monitoreo comunitario. Estas carpetas incluyen:

- Una planilla de identificación del sitio, con información clave sobre el historial, línea base, año de plantación, especies utilizadas y método de establecimiento.
- Las planillas anuales de monitoreo, organizadas por indicador, con campos obligatorios y espacio para observaciones.

Estas carpetas funcionarán como registro acumulativo y serán devueltas al CAPR al finalizar cada ciclo anual, quedando archivadas institucionalmente como respaldo histórico e insumo de las ruedas.

### Métodos de recolección de datos por indicador

Los métodos definidos para cada variable monitoreada en terreno son los siguientes:

- **Altura y DAP:** medición directa con pie de metro y huincha diamétrica.
- **Estratos:** categorización visual por forma de crecimiento.
- **Sobrevivencia:** recuento de individuos vivos en relación con el total plantado, diferenciando árboles iniciales y replantes.
- **Regeneración natural:** conteo aproximado por especie, con posterior clasificación funcional según tolerancia a la sombra.

- **Estado fitosanitario:** inspección visual y registro de síntomas visibles por individuo.
- **Control de invasoras:** conteo por especie en toda la parcela.
- **Dispersores de semillas:** observación directa de especies de fauna con potencial de dispersión que visitan la plantación. En particular, esta medición se propone de manera periódica como observación constante de las especies que visitan la plantación.
- **Ausencia de ganado:** inspección y registro de las señales de ingreso (huellas, fecas, rastros de daño).
- **Estado del cerco:** evaluación visual cualitativa de daños o deterioro estructural.

En el caso de los indicadores sociales, sus variables son registradas por el comité del APR Mashue y su equipo técnico a través de instrumentos administrativos ya existentes (actas, nóminas, registros de asistencia, convenios).

#### Cálculo de índices y representación gráfica

Cada indicador se transforma en un valor estandarizado mediante los cuantificadores y/o índices técnicos previamente definidos, los cuales se traducen a niveles ordinales entre 1 y 5 utilizando los umbrales establecidos en la sección 4.2. Los valores obtenidos se representan gráficamente en las ruedas RRE y RRSE, completando su forma circular de forma visual y comparativa (ver Figuras 9 y 10).

Para calcular el nivel general de una rueda, se establece un umbral mínimo del 60 % de cobertura de los indicadores: si no se cuenta con información suficiente, se sugiere no realizar la síntesis hasta completar el mínimo requerido.

#### Responsabilidad, formación y continuidad

Si bien durante este proceso solo algunos socios/as se capacitaron, se dejó establecido el material, las plantillas y los protocolos necesarios para que el equipo técnico del APR pueda continuar formando a nuevos participantes interesados en integrarse al monitoreo comunitario. Esto refuerza la continuidad y autonomía progresiva del sistema.

#### Instancias de evaluación y toma de decisiones

Se propone realizar reuniones anuales de revisión, donde se presenten públicamente los resultados sintetizados mediante las ruedas. En estas instancias, el comité del APR y su equipo técnico interpretan los resultados y proponen ajustes, los cuales luego son comunicados y discutidos con la comunidad. Esta práctica fortalece la gestión adaptativa del PRBD y promueve la construcción de conocimiento colectivo.

## Comunicación comunitaria y visibilidad

Como estrategia de apropiación local, se plantea:

- Imprimir la RRE y entregarla individualmente a cada socio/a que haya recopilado la información necesaria.
- Imprimir la RRSE y exponerla de forma permanente en la sede del APR como reflejo del avance global del programa.

## Proyección y actualización del sistema

Se contempla que el sistema pueda evolucionar en el tiempo, revisando periódicamente los indicadores seleccionados, actualizando los umbrales de evaluación y ajustando los instrumentos de medición. Si bien por ahora se propone una metodología basada en registros físicos, se discute como desafío futuro la incorporación de plataformas digitales de almacenamiento y análisis.

**Anexo 11.** Documento entregado para la aplicación de las encuestas sobre las capacitaciones.

## **Encuesta sobre las Capacitaciones para el Monitoreo Participativo al Proceso de Restauración de Bosque Degradados**

### **1. Introducción**

Con el objetivo de fortalecer el proceso de integración del monitoreo participativo del “Proceso de Restauración de Bosques Degradados”, se diseñó un ciclo de capacitaciones dirigidas a miembros de la comunidad. Estas actividades buscan entregar herramientas prácticas y teóricas para la instalación de parcelas permanentes de monitoreo y la recolección de datos en terreno.

Para evaluar el impacto de estas capacitaciones, se aplicarán encuestas de evaluación antes y después de las actividades, utilizando una escala tipo Likert. Este instrumento permitirá identificar los niveles de conocimiento percibido por las y los participantes respecto a las temáticas abordadas, así como los aprendizajes adquiridos.

Estas encuestas utilizan una escala Likert de 5 puntos:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = Poco de acuerdo
- 3 = Medianamente de acuerdo
- 4 = De acuerdo
- 5 = Totalmente de acuerdo

### **2. Aplicación de las encuestas**

- Las encuestas se aplicarán individualmente a las y los participantes antes y después de cada sesión de capacitación.
- Cada sesión será organizada en tres jornadas distintas, con el objetivo capacitar a la mayor cantidad de socio/as posibles.
- Los datos serán analizados de forma anónima y servirán exclusivamente para fines de mejora del proceso de formación comunitaria.

### Primera encuesta

“Comprensión sobre la implementación de un Monitoreo Participativo para el Proceso de Restauración de Bosques Degradados en Mashue”

Nº	Afirmación	1	2	3	4	5
1	Comprendo qué es el monitoreo participativo y su importancia en procesos de restauración ecológica.					
2	Comprendo cómo se relaciona el monitoreo con el “Proceso de Restauración de Bosques Degradados”.					
3	Reconozco el valor del conocimiento local para implementar un monitoreo participativo efectivo.					
4	Entiendo por qué se deben definir indicadores para evaluar el “Proceso de Restauración de Bosques Degradados”.					
5	Comprendo qué cual es el tipo de información se debe recolectar en un monitoreo participativo.					
6	Conozco los pasos necesarios para llevar a cabo las acciones del monitoreo participativo en mi parcela permanente.					
7	Me siento capaz de participar en la implementación de un sistema de monitoreo participativo en mi territorio.					
8	Comprendo cómo el monitoreo participativo puede ayudar a tomar decisiones sobre la restauración del bosque.					
9	Reconozco el monitoreo participativo como una herramienta útil para evaluar el éxito o fracaso de una restauración.					
10	Me siento comprometido/a con aportar al monitoreo participativo del proceso de restauración de bosques degradados.					

### Segunda encuesta

“Comprensión de los procedimientos para la instalación de las Parcelas de Monitoreo Permanente”

Nº	Afirmación	1	2	3	4	5
1	Comprendo qué es una parcela de monitoreo permanente.					
2	Sé por qué es importante instalar parcelas permanentes para el proceso de restauración de bosques degradados.					
3	Me siento capaz de identificar un sitio adecuado para instalar una parcela de monitoreo permanente.					
4	Conozco los materiales necesarios para la instalación de la parcela.					
5	Conozco los pasos necesarios para delimitar correctamente una parcela de monitoreo permanente.					
6	Entiendo la relación entre las mediciones en las parcelas permanentes y la evaluación de cambios a largo plazo.					

### Tercera encuesta

“Comprensión de los procedimientos para la toma de datos en terreno”

N°	Afirmación	1	2	3	4	5
1	Sé cómo identificar correctamente las <b>especies plantadas</b> presentes en la parcela.					
2	Puedo evaluar la <b>sobrevivencia</b> de los individuos plantados					
3	Me siento capacitado/a para medir la <b>altura</b> de un individuo usando una huincha de medir.					
4	Entiendo cómo se mide el <b>diámetro a la altura del cuello (DAC)</b> de los árboles plantados con el pie de metro.					
5	Comprendo como identificar las diferentes formas de crecimiento dentro de mi parcela de monitoreo (herbáceo, arbustivo, arbóreo).					
6	Logro identificar la <b>regeneración natural de especies nativas</b> dentro de la parcela de monitoreo permanente.					
7	Puedo identificar a simple vista daños asociados al <b>estado fitosanitario</b> de las plantas.					
8	Me siento capacitado para contabilizar aproximadamente el número de individuos por especie en regeneración.					
9	Logro reconocer especies de <b>avifauna dispersoras de semillas</b> y comprendo su registro.					
10	Me siento capacitado/a para identificar <b>amenazas</b> presentes en la parcela ( <i>Presencia de ganado, especies invasoras, daños al cerco, etc</i> ).					
11	Sé cómo usar una ficha de campo para <b>registrar datos de forma clara y organizada</b> , evitando errores comunes.					
12	Comprendo la importancia de <b>usar el mismo protocolo de medición en todas las parcelas</b> para obtener datos comparables.					
13	Me siento capaz de <b>trabajar en grupo coordinadamente</b> durante la medición en terreno, respetando funciones y tiempos asignados.					

## 6. Agradecimientos

Agradecemos la participación activa y comprometida de cada integrante de la comunidad de Mashue, cuya experiencia y conocimiento sobre el territorio han sido clave para el desarrollo de este proceso de monitoreo participativo.