



Agencia Nacional de
Investigación y Desarrollo
Subdirección de Redes,
Estrategia y Conocimiento
Proyecto NEL123 N0007



**LABORATORIO
NATURAL**

Informe

Diagnóstico del Laboratorio

Natural Andes del Sur

2025



Anexo 1: Diagnóstico

Índice:

- **1.a. Análisis Bibliométrico:** Proporciona una actualización del diagnóstico mediante el análisis de la producción científica, identificando a los principales investigadores/as, las instituciones asociadas y las revistas especializadas vinculadas a los tres Laboratorios Temáticos (LT1, LT2 y LT3). Es la base para entender quiénes y dónde se genera el conocimiento en el territorio.
- **1.b. Manifestación Territorial de la Producción Científica (LT1):** Presenta la síntesis de resultados del Laboratorio Temático 1 sobre Evolución y Herencia Geológica. Incluye la georreferenciación de hitos geográficos y áreas de estudio, permitiendo visualizar la distribución espacial de la ciencia en el territorio entre 1982 y 2021.
- **1.c. Mapa de Actores y Relaciones:** Sistematiza el proceso de actualización del ecosistema CTCI del laboratorio. Identifica actores institucionales, organizaciones de la sociedad civil y redes de investigación, analizando sus interacciones, flujos de financiamiento y roles en la gobernanza territorial.
- **1.d. Informe de Análisis de Brechas y Oportunidades:** Evalúa las limitaciones y potencialidades del ecosistema CTCI desde una perspectiva académica y territorial. Aborda desafíos en articulación, comunicación del conocimiento y gobernanza, posicionando al LNADS como una plataforma estratégica de integración.
- **1.e. Singularidades del Laboratorio Natural Andes del Sur:** Es un informe detallado sobre las características únicas del territorio. Describe fenómenos como el arco volcánico activo, el sistema de fallas Liquiñe-Ofqui, los bosques templados de latitudes medias y los modos de vida transfronterizos que definen la excepcionalidad de este laboratorio natural.
- **1.f. Base de Datos del Patrimonio Geológico:** Consiste en un inventario detallado de 127 geositos distribuidos en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. La base de datos incluye información sobre el estado de conservación, valor científico y didáctico de hitos como el Volcán Chaitén o el Salto Lonquimay, destinada a integrarse al Visor de Inteligencia Territorial.
- **1.g. Marco Institucional y de Políticas Públicas:** Es el diagnóstico del marco normativo y las competencias institucionales que inciden en la gestión de las montañas. Analiza las políticas relacionadas con los tres laboratorios temáticos y propone oportunidades para que el LNADS asesore la toma de decisiones basada en evidencia

Anexo 1.a:
ACTUALIZACIÓN DE DIAGNÓSTICO:
ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO LABORATORIO NATURAL ANDES DEL SUR

ÍNDICE

1. Metodología

2. Resultados

2.1 Producción científica Laboratorio Natural Andes del Sur

2.2 Investigadores/as del Laboratorio Natural Andes del Sur

2.2.1 Investigadores/as Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.2.2 Investigadores/as Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.2.3 Investigadores/as Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

2.3 Instituciones asociadas al Laboratorio Natural Andes del Sur

2.3.1 Instituciones asociadas al Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.3.2 Instituciones asociadas al Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.3.3 Instituciones asociadas al Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

2.4 Revistas del Laboratorio Andes del Sur

2.4.1 Principales revistas Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.4.2 Principales revistas Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.4.3 Principales revistas Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

2.5 Publicaciones Laboratorio Natural Andes del Sur

2.5.1 Principales publicaciones Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.5.2 Principales publicaciones Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.5.3 Principales publicaciones Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

2.6 Evolución de palabras claves Laboratorio Natural Andes del Sur

2.6.1 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.6.2 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.6.3 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

2.7 Colaboración internacional Laboratorio Natural Andes del Sur

2.7.1 Colaboración internacional Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

2.7.2 Colaboración internacional Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

2.7.3 Colaboración internacional Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

3. Conclusiones

1. Metodología

El estudio bibliométrico se realizó a partir de la búsqueda de publicaciones científicas indexadas asociadas a los Laboratorios Temáticos (1) Evolución y Herencia Geológica; (2) Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos Hídricos; y (3) Modos de Vida y Habitar de Montaña. En base a la caracterización de cada Laboratorio Temático (LT) se utilizó una ecuación de búsqueda (Tabla 1) en las plataformas *Web of Science* (WoS), *Scopus* y *SciELO*.

Los resultados de este informe son elaborados a partir de la base de datos unificada, la cual posee documentos publicados desde 1982 correspondiente al año de inicio la adjudicación de proyectos Fondecyt (Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico) de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo) hasta 2023.

Tabla 1. Códigos con palabras claves por Laboratorio Temático utilizadas para la búsqueda en el análisis bibliométrico.

Laboratorio temático	Código de búsqueda (palabras claves)
LT1	Chile AND ((Southern AND Andes) OR Lonquimay OR Llama OR Sollipulli OR Villarrica OR Lanin OR Quetrupillan OR (Mocho AND Choshuenko) OR (Carran AND Los AND Venados) OR Puyehue OR (Cordon AND Caulle) OR Antillanca OR Osorno OR Calbuco OR Yate OR Hornopiren OR Huequi OR Michinmahuida OR Chaiten OR Corcovado) AND (Geology* OR orogenesis* OR subduction* OR geodynamics* OR magmatism* OR erosion* OR geological hazards OR volcanism* OR paleontology* OR sedimentology* OR geochemistry* OR petrology* OR geomorphology* OR stratigraphy* OR mudflow* OR landslide* OR earthquake* OR fault* OR geothermal* OR energy* OR entalphy* OR fossil* OR eruption* OR volcano* OR tephra* OR tephrochronology* OR (Liquiñe AND Ofqui) OR fjord* OR geoheritage* OR geosite* OR geotourism*)
LT2	Búsqueda para bosque: Chile AND ((Southern AND Andes) OR (Southern AND Mountain) OR (Southern AND Montane) OR Curacautin OR Lonquimay OR Melipeuco OR Cunco OR Pucón OR Curarrehue OR Villarrica OR Vilcún OR Cochamó OR Chaitén OR Hualaihue OR Futaleufú OR Palena OR (Puerto AND Varas) OR (Lago AND Ranco) OR (Río AND Bueno) OR Panguipulli OR (Los AND Lagos) OR Futrono OR Puyehue OR (Puerto AND Octay) OR (Puerto AND Montt) OR Collipulli OR Ercilla OR Loncoche OR Victoria OR Frutillar OR Llanquihue OR Wallmapu OR Puelmapu OR Futawillimapu OR (Andes AND Cordillera)) AND (((Global OR climate) AND change) OR (greenhouse AND effect) OR drought* OR pollution* OR temperature* OR recovery* OR conservation* OR precipitation* OR fire*) AND (Forest* OR (Andean AND temperate) OR vegetation* OR treeline* OR (nurse AND plant) OR fragmentation* OR Flora*

	OR Fauna* OR Fungi* OR species* OR nutrients* OR microbial* OR (Austrocedrus AND chilensis) OR (Orites AND myrtoidea) OR (Prumnopitis AND andina) OR (Felis AND guigna) OR (Phymaturus AND vociferator)) Búsqueda para suelo: Chile AND ((Southern AND Andes) OR (Southern AND Mountain) OR (Southern AND Montane) OR Curacautin OR Lonquimay OR Melipeuco OR Cunco OR Pucón OR Curarrehue OR Villarrica OR Vilcún OR Cochamó OR Chaitén OR Hualaihue OR Futaleufú OR Palena OR (Puerto AND Varas) OR (Lago AND Ranco) OR (Río AND Bueno) OR Panguipulli OR (Los AND Lagos) OR Futrono OR Puyehue OR (Puerto AND Octay) OR (Puerto AND Montt) OR Collipulli OR Ercilla OR Loncoche OR Victoria OR Frutillar OR Llanquihue OR Wallmapu OR Puelmapu OR Futawillimapu OR (Andes AND Cordillera)) AND (((Global OR climate) AND change) OR (greenhouse AND effect) OR drought* OR pollution* OR temperature* OR recovery* OR conservation* OR precipitation* OR fire*) AND (soil* OR rhizosphere* OR Erosion* OR Fungi* OR Carbon* OR nitrogen* OR infiltration* OR (field AND capacity) OR (permanent AND wilting AND point) OR porosity* OR microbial*) Búsqueda para recursos hídricos: Chile AND ((Southern AND Andes) OR (Southern AND Mountain) OR (Southern AND Montane) OR Curacautin OR Lonquimay OR Melipeuco OR Cunco OR Pucón OR Curarrehue OR Villarrica OR Vilcún OR Cochamó OR Chaitén OR Hualaihue OR Futaleufú OR Palena OR (Puerto AND Varas) OR (Lago AND Ranco) OR (Río AND Bueno) OR Panguipulli OR (Los AND Lagos) OR Futrono OR Puyehue OR (Puerto AND Octay) OR (Puerto AND Montt) OR Collipulli OR Ercilla OR Loncoche OR Victoria OR Frutillar OR Llanquihue OR Wallmapu OR Puelmapu OR Futawillimapu OR (Andes AND Cordillera)) AND (((Global OR climate) AND change) OR (greenhouse AND effect) OR drought* OR pollution* OR temperature* OR recovery* OR conservation* OR precipitation* OR fire*) AND ((Water AND resources) OR Basin* OR infiltration* OR flows* OR runoff* OR evapotranspiration* OR (water AND balance) OR snow* OR recharge* OR aquifer* OR wetlands*)
LT3	Chile AND ((Southern AND Andes) OR (Southern AND Mountain) OR (Southern AND Montane) OR Curacautin OR Lonquimay OR Melipeuco OR Cunco OR Pucón OR Curarrehue OR Villarrica OR Vilcún OR Cochamó OR Chaitén OR Hualaihue OR Futaleufú OR Palena OR (Puerto AND Varas) OR (Lago AND Ranco) OR (Río AND Bueno) OR Panguipulli OR (Los AND Lagos) OR Futrono OR Puyehue OR (Puerto AND Octay) OR (Puerto AND Montt) OR Collipulli OR Ercilla OR Loncoche OR Victoria OR Frutillar OR Llanquihue OR

	Wallmapu OR Puelmapu OR Futawillimapu OR (Andes AND Cordillera)) AND (Mapuche OR Pehuenche OR Huilliche OR Campesino OR Colono OR Peasant OR Farming OR Agriculture OR Livelihood OR Interculturality OR Multiculturalism OR Ontology OR Epistemology OR (Local AND Ecological AND Knowledge) OR Beliefs OR Cosmovision OR Wisdom OR (Traditional AND Knowledge) OR (Traditional AND Practices) OR (Local AND Knowledge) OR (Local AND Perceptions) OR Biocultural* OR (Local AND Economy) OR (Productive AND Practices) OR Tourism OR Landscape OR (Food AND Sovereignty) OR (Food AND Security) OR Migration OR Socioecological OR Rural Development OR Land-use OR (Territorial AND Planning) OR (Socioterritorial AND Conflict) OR (Socio-environmental AND Transformations) OR Agency OR indigenous OR (territorial AND zoonification) OR inequality OR (Political AND ecology) OR Vulnerability OR Socio-territorial OR (social AND ecological) OR Education)
--	---

Se utilizó como guía la declaración PRISMA 2020, (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*), la cual es una herramienta que contribuye a mejorar la claridad de revisiones sistemáticas (Figura 1). De esta manera, una vez obtenidos los resultados, bajo lectura del título, resumen, introducción y metodología fueron seleccionados los artículos relacionados con cada Laboratorio Temático y situados dentro del territorio Andes del Sur. Estos datos fueron procesados en el programa *RStudio version 4.1.3* (R Core Team, 2022) para eliminar los artículos duplicados y generar una base de datos excel unificada a partir de los 3 motores de búsqueda. La tabla excel fue editada, corrigiendo manualmente nombres de autores, instituciones, revistas y duplicados. Esta base de datos fue procesada en la herramienta *Bibliometrix version 4.1* (Aria y Cuccurullo, 2017).

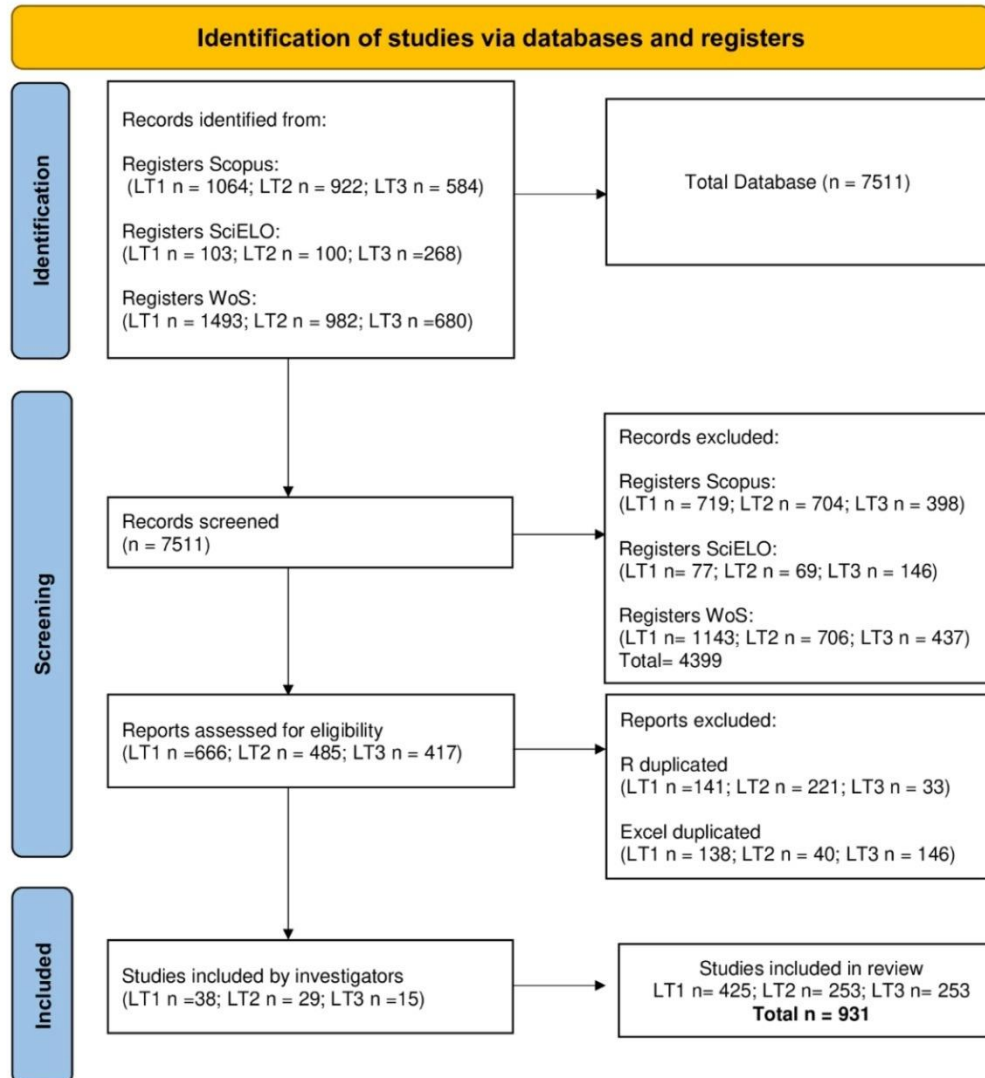


Figura 1. Metodología de búsqueda y selección de información para análisis bibliométrico del Laboratorio Natural Andes del Sur desde 1982 hasta 2023. Tomado y modificado de PRISMA (2020).

El procesamiento de datos a través de la herramienta *Bibliometrix* consideró las clasificaciones por Laboratorio Temático de: producción científica anual, principales investigadores, redes de principales investigadores, principales instituciones, redes de principales instituciones, principales revistas, publicaciones más citas a nivel global, evolución de palabras claves y redes colaboración internacional.

2. RESULTADOS

2.1 Producción científica Laboratorio Natural Andes del Sur

La figura 2 muestra la producción científica del Laboratorio Natural Andes del Sur entre los años 1982 y 2023. El Laboratorio Temático 1 (naranja) presenta un total de 431 publicaciones (425 artículos, 6 review), el Laboratorio Temático 2 (verde) 253 publicaciones (244 artículos, 9 review), al igual que el Laboratorio Temático 3 (gris) posee 253 publicaciones (248 artículos, 5 review). Desde el año 2004 comienza un incremento de la producción científica en el LT1 y LT2, mientras que en el LT3 dicho incremento se observa desde el año 2008. La mayor producción científica anual en el Laboratorio Temático 1 es en el año 2016, en Laboratorio Temático 2 el año 2023 y Laboratorio Temático 3 en el año 2022.

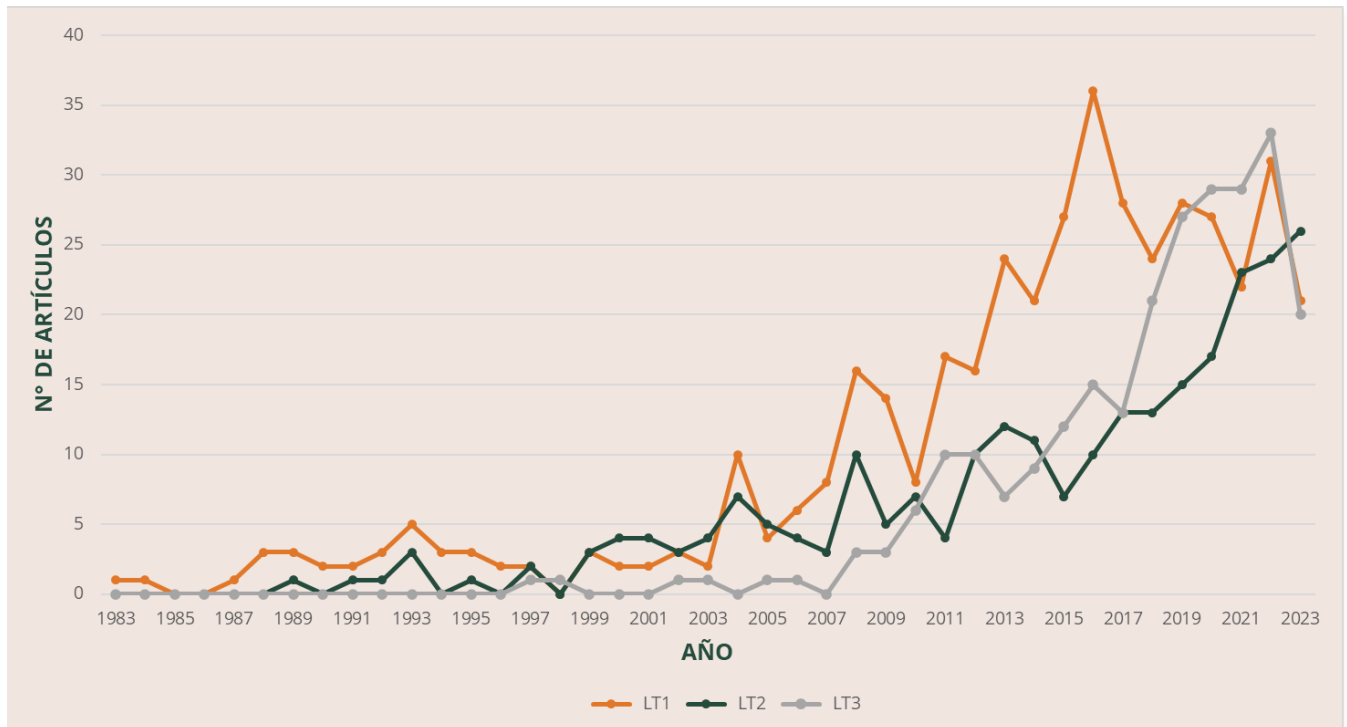


Figura 2. Producción Científica Anual Laboratorio Natural Andes del Sur.

2.2 Investigadores/as del Laboratorio Natural Andes del Sur

2.2.1 Investigadores/as Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

Existe un total de 1250 investigadores/as que realizan ciencia en el LT1. En la figura 3, se observan las principales autorías y co-autorías con al menos 11 artículos indexados asociados al LT1, de estos principales autores, solo una investigadora es mujer. Luis Lara presenta el mayor número de publicaciones ($n=33$), seguido por Hugo Moreno ($n=26$).

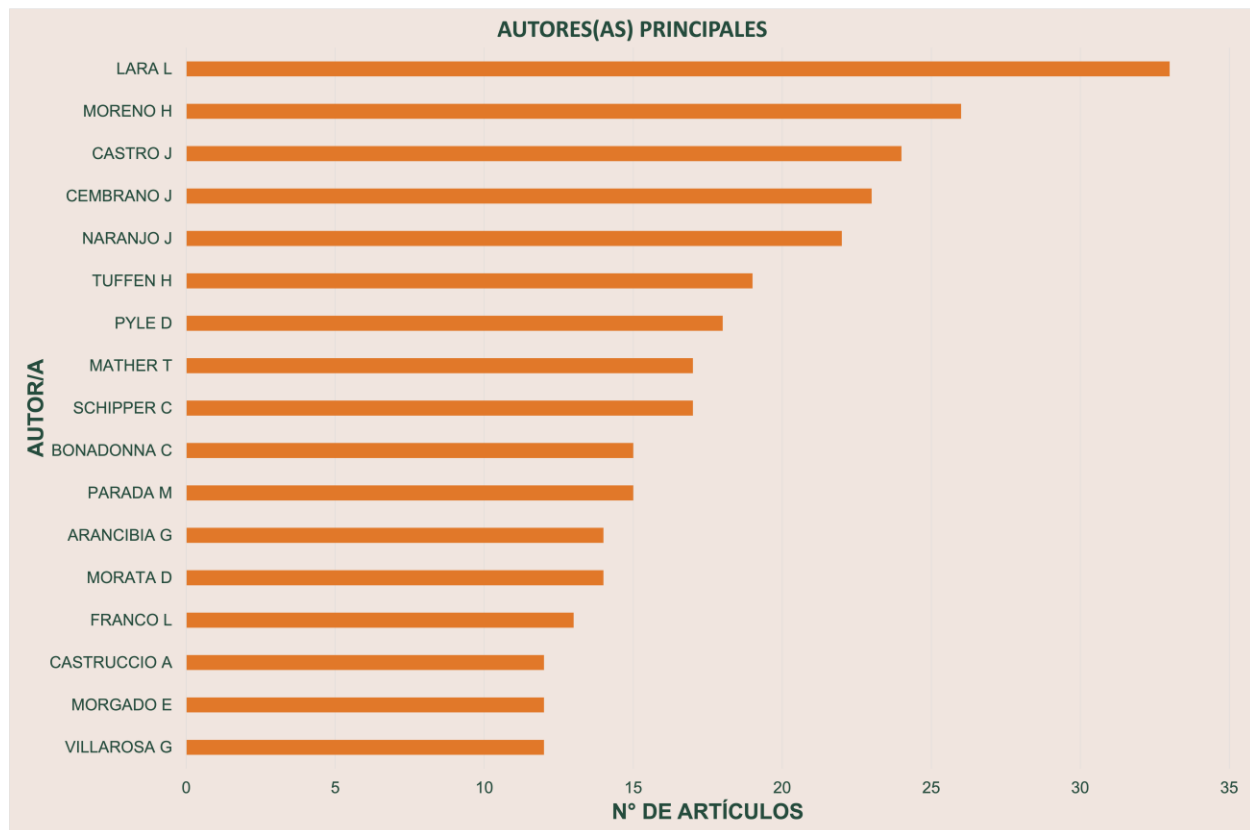


Figura 3. Principales investigadores/as Laboratorio Temático 1.

La figura 4 muestra la red de colaboración científica entre investigadores/as del LT1, donde cada círculo (nodo) representa a un investigador y los vínculos son las relaciones en la producción de artículos científicos. Se aprecian nueve clusters representados por nueve colores distintos que agrupan las diversas relaciones entre los investigadores y en los cuales se pueden visualizar las redes de co-citación. El tamaño de los nodos, sumado a lo central y periférico de éstos permiten apreciar los nexos entre un autor y otro. Se identifica una colaboración consolidada entre los principales investigadores del LT1 y también entre los distintos grupos de investigadores. Destacan las redes asociadas a los investigadores Luis Lara, José Cembrano y J Castro.



Existe un total de 1009 investigadores/as que realizan ciencia en el LT2. En la figura 5, se observan las principales autorías y co-autorías con al menos 5 artículos indexados asociados al LT2. De estas principales autorías 3 son mujeres y 21 hombres. Antonio Lara, asociado a la Universidad Austral de Chile se mantiene como el investigador con mayor número de publicaciones (n=21), seguido por Carlos Oyarzún (Universidad Austral de Chile y Ricardo Villalba (Centro Científico Tecnológico CONICET, Mendoza, Argentina), con 11 publicaciones cada uno.

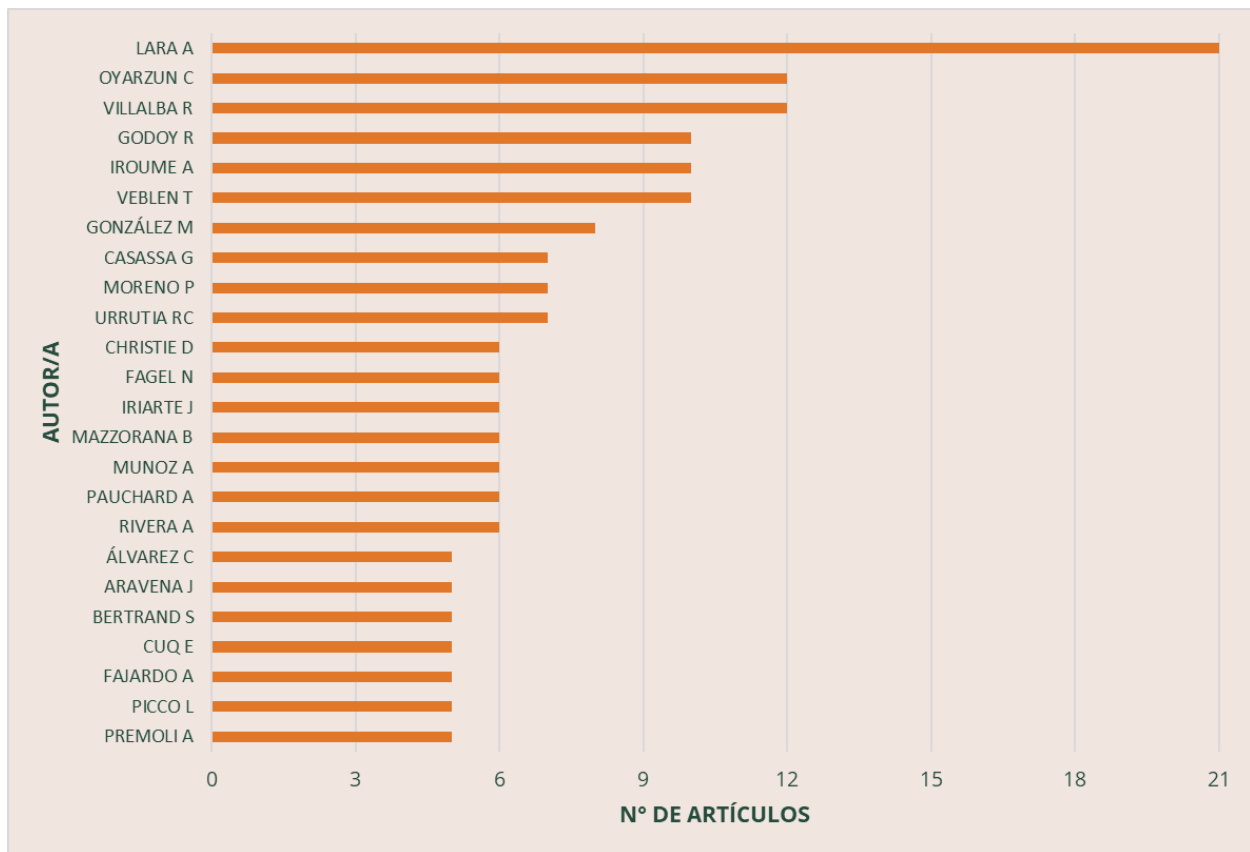


Figura 5. Principales investigadores/as Laboratorio Temático 2.

La figura 6 muestra las redes de colaboración entre investigadores/as del LT2, las cuales se mantienen con respecto a lo obtenido en el año de diagnóstico. Se puede apreciar cluster representados por 8 colores distintos, donde cada nodo representa un autor/a y los vínculos reflejan la co-autoría de 1 o más artículos científicos. Destaca en la figura 3 la red asociada al autor Antonio Lara (color verde), la cual establece colaboración con 4 cluster, mientras que los 3 restantes se aprecian como cluster aislados.

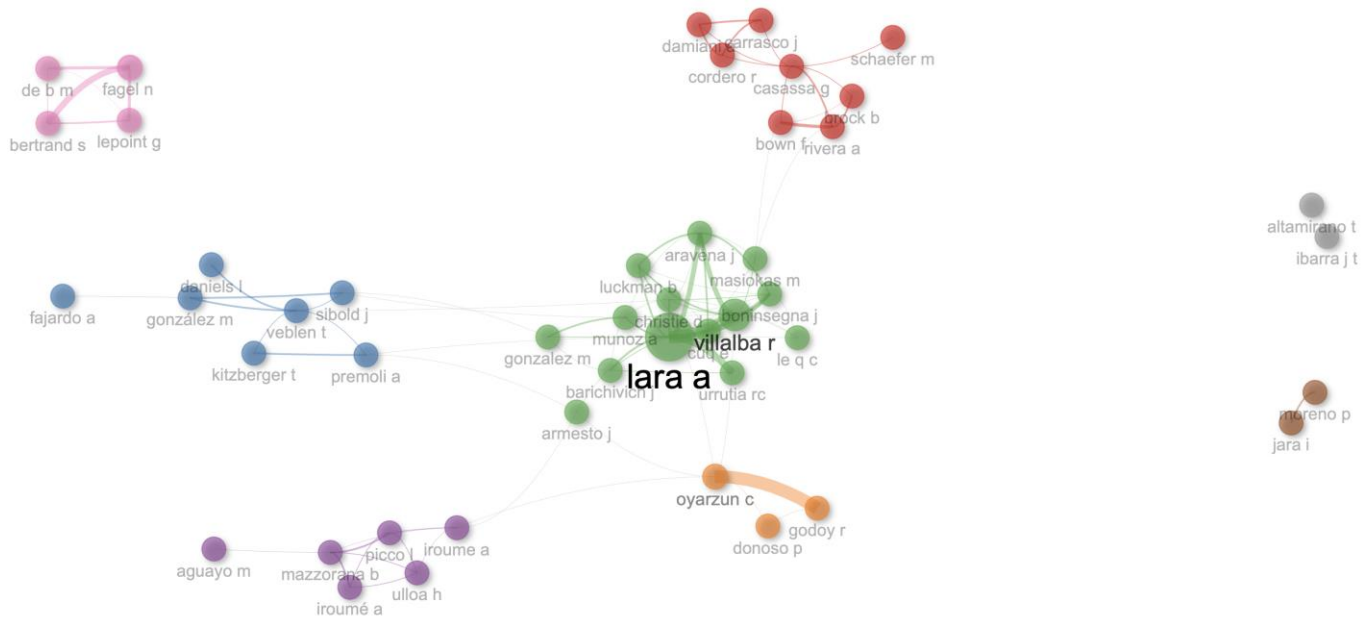


Figura 6. Redes de colaboración entre investigadores/as del Laboratorio Temático 2.

2.2.3 Investigadores/as Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

Existe un total de 567 investigadores/as que realizan ciencia en el LT3. En la figura 7, se observan las principales autorías y co-autorías con al menos 4 artículos indexados asociados al LT3. De estas principales autorías 6 son mujeres y 11 hombres. Hugo Zunino, investigador asociado a la Universidad de La Frontera presenta el mayor número de publicaciones (n=11), seguido por José Tomás Ibarra (n=9) de la Universidad Católica de Chile sede Villarrica.

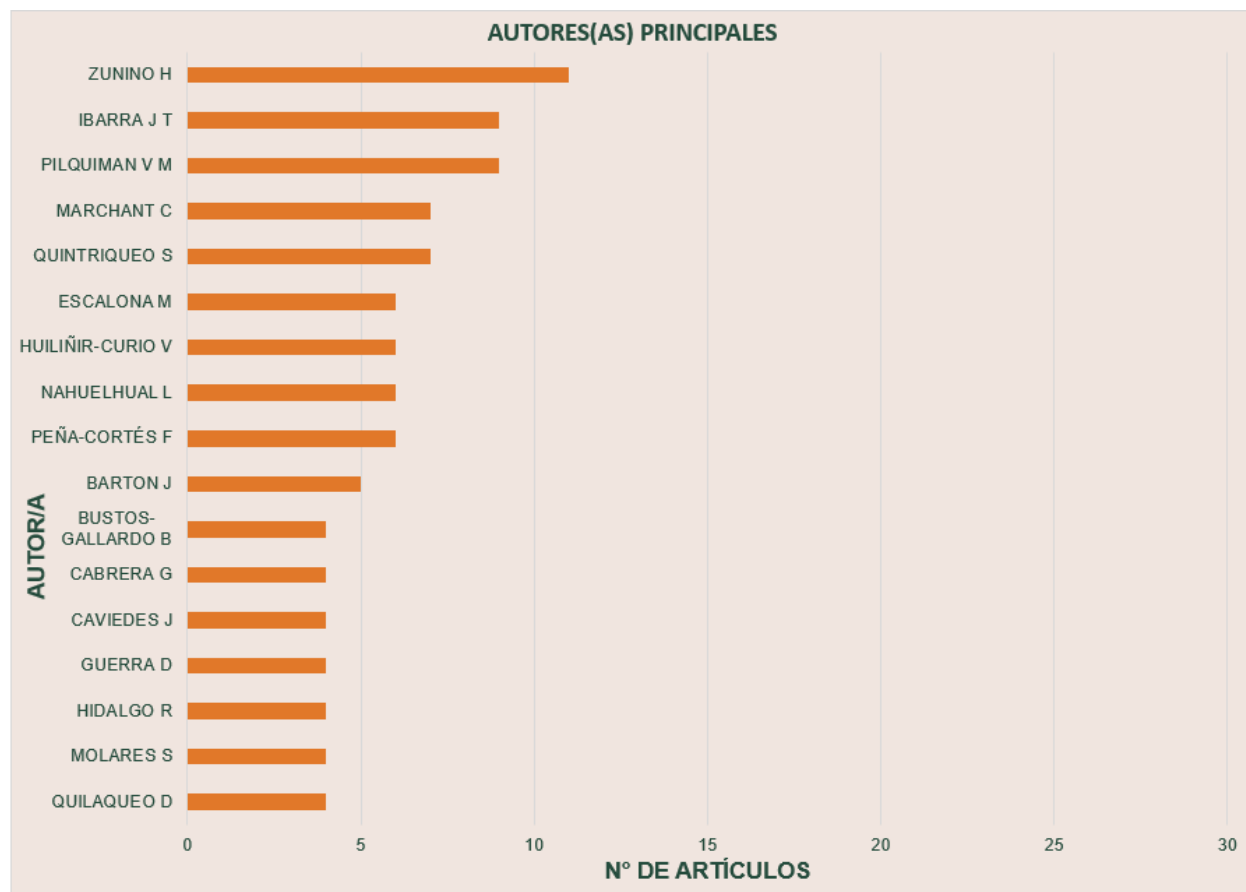


Figura 7. Principales investigadora/es Laboratorio Temático 3.

La figura 8 muestra las redes de colaboración entre investigadores/as del LT3, donde cada círculo (nodo) representa un autor/a y los vínculos reflejan la co-autoría de 1 o más artículos científicos. El tamaño de los nodos, sumado a lo central y periférico de éstos permiten apreciar los nexos entre investigadores/as. Se identifican ocho clusters representados por ocho colores distintos que agrupan las diversas relaciones entre los investigadores/as y en los cuales se pueden visualizar las redes de co-autoría. Destacan los clusters asociados a los autores Hugo Zunino, Marisela Pilquimán, Sergio Quintriqueo y José Tomás Ibarra. Sin embargo, en términos globales la red está fragmentada y no refleja una colaboración consolidada entre grupos de investigadoras/es.

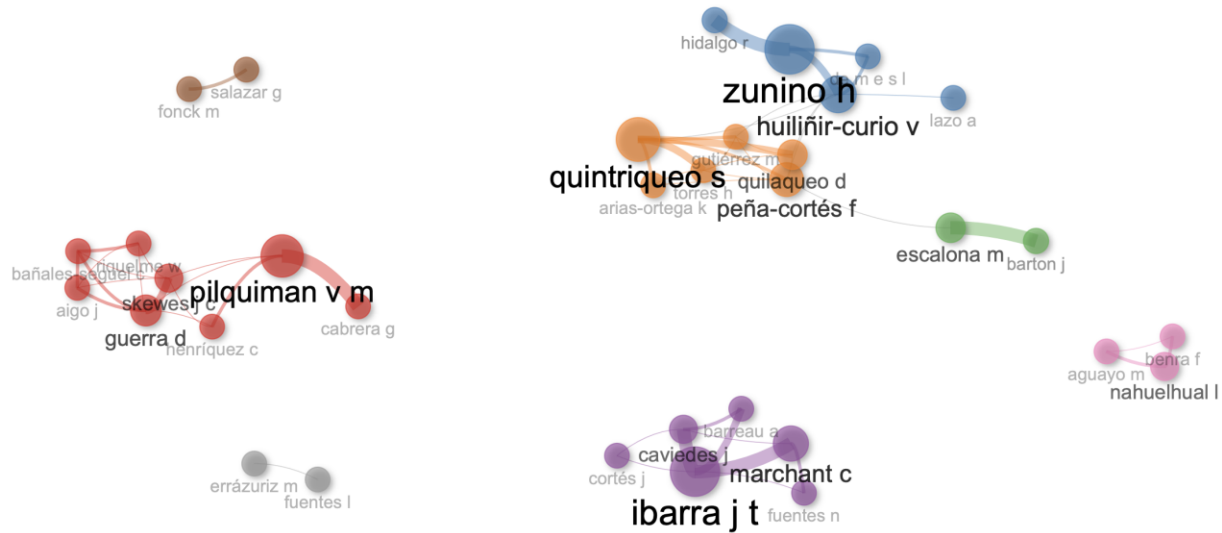


Figura 8. Redes de colaboración entre investigadores/as del Laboratorio Temático 3.

2.3 Instituciones asociadas al Laboratorio Natural Andes del Sur

2.3.1 Instituciones asociadas al Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

Existe un total de 491 instituciones vinculadas al LT1. En la figura 9, se observan las instituciones más relevantes en base al número de artículos publicados. La Universidad de Chile presenta el mayor número de publicaciones ($n=120$), seguido por la Universidad de Concepción ($n=58$) y la Universidad Austral de Chile ($n=44$). De las principales universidades e instituciones que se muestran en el gráfico, un 42% son nacionales.

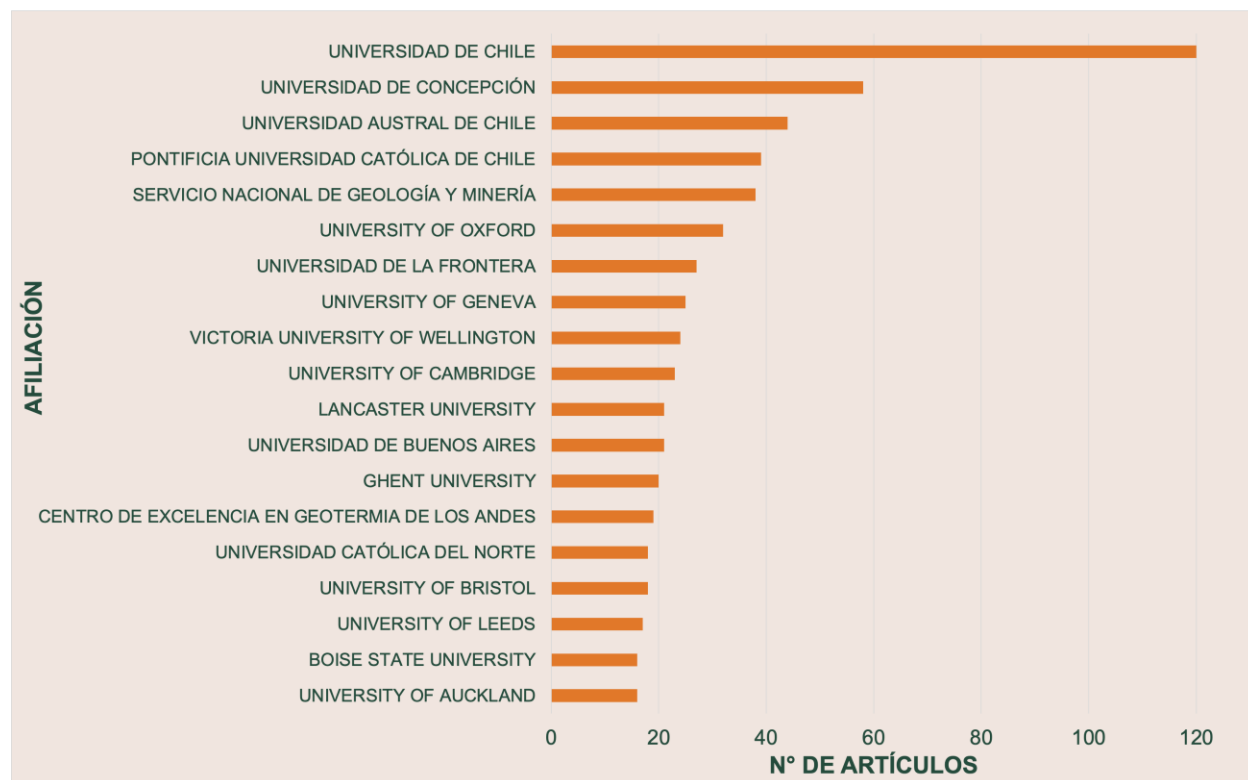
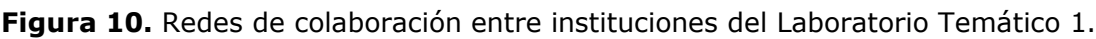


Figura 9. Principales instituciones Laboratorio Temático 1.

La figura 10 muestra las redes de colaboración entre instituciones asociadas al LT1, donde cada nodo representa una institución y los vinculos representan la colaboración entre universidades y/o instituciones en la elaboración de 1 o más artículos científicos. En la figura 5 destaca la red de colaboración asociada a la Universidad de Chile (en color verde) y una significativa colaboración inter-institucional, tanto a nivel nacional como internacional.



Existe un total de 383 instituciones vinculadas al LT2. En la figura 11, se observan las 17 instituciones más relevantes en base al número de artículos publicados. La Universidad Austral de Chile se mantiene como la institución con el mayor número de publicaciones (n=195), seguido por la Universidad de Concepción (n=86) y Universidad de Chile (n=80). Un 71% de las principales instituciones son de carácter nacional.

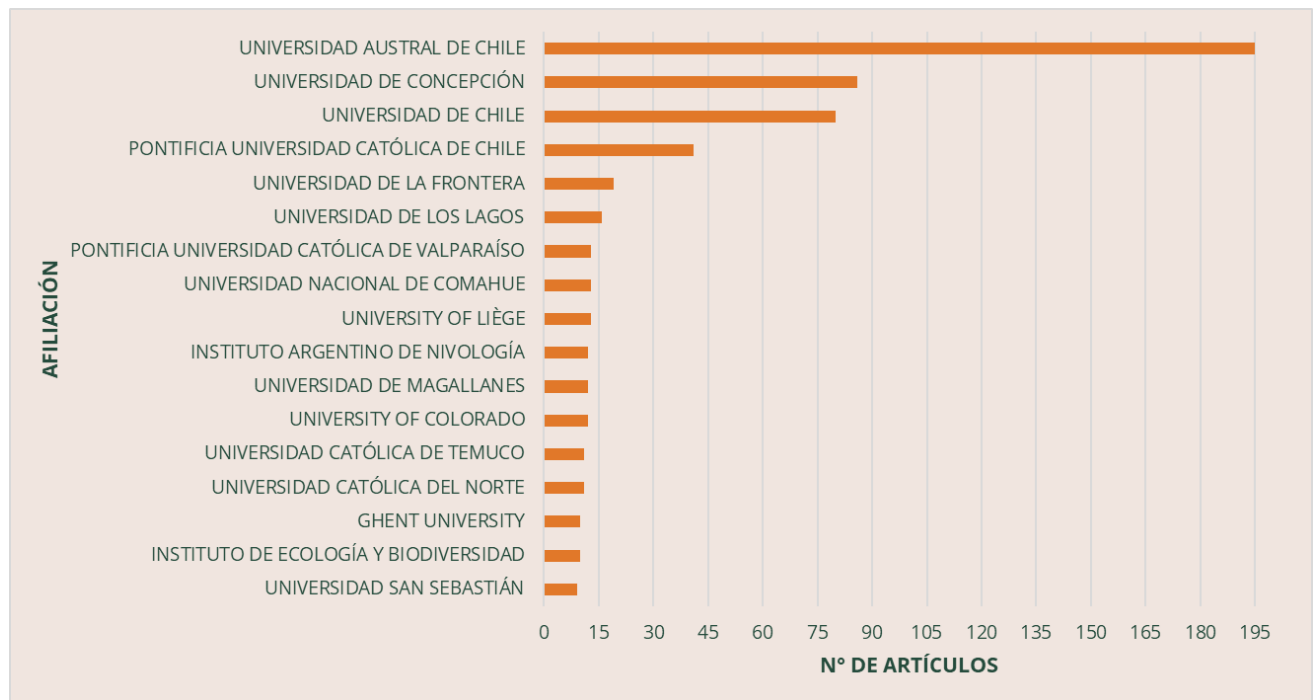


Figura 11. Principales instituciones Laboratorio Temático 2.

La figura 12 muestra las redes de colaboración entre instituciones asociadas al LT2. Se puede apreciar clusters representados por 9 colores distintos, donde cada nodo representa una institución y los vinculos representan la colaboración entre universidades y/o instituciones en la elaboración de 1 o más artículos científicos. En la figura destaca un cluster (color azul) donde se concentra la gran red de colaboración tanto a nivel nacional como internacional, destacando la Universidad Austral de Chile e incluyendo Universidad de Concepción y Universidad de Chile.

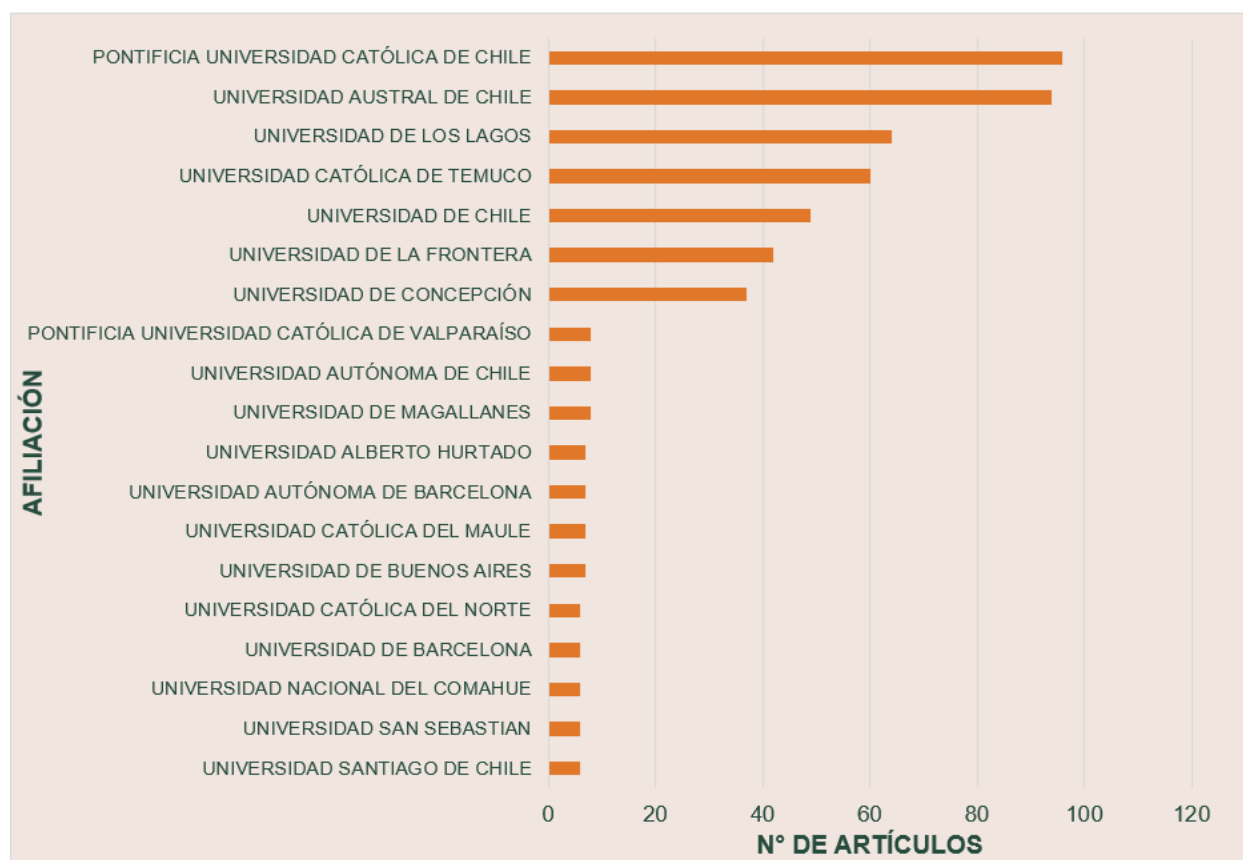
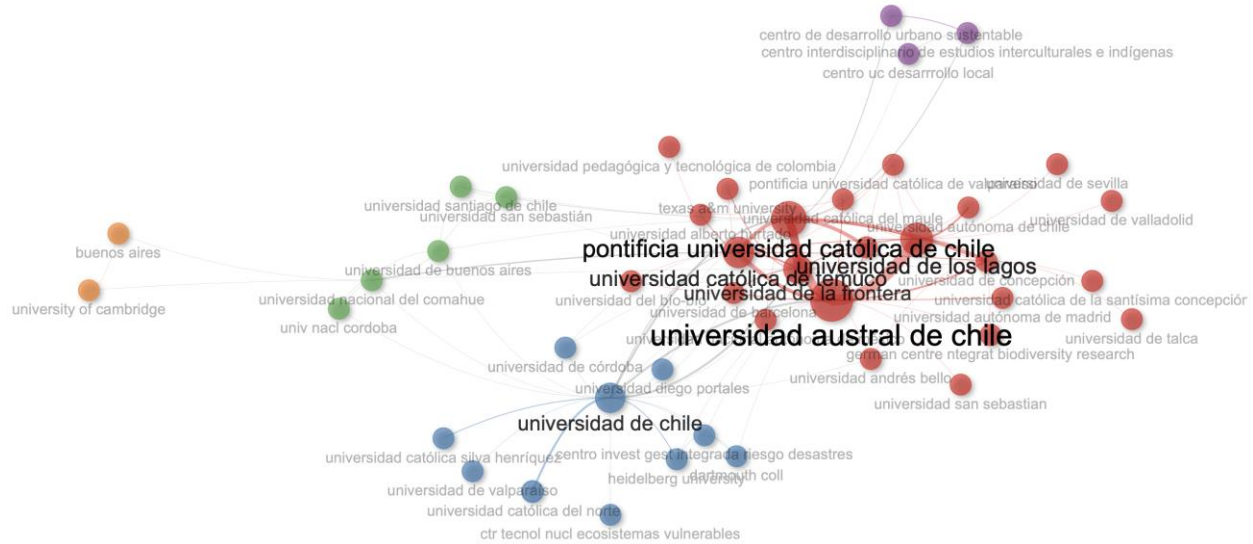


Figura 13. Principales instituciones Laboratorio Temático 3.

La figura 14 muestra las redes de colaboración entre instituciones asociadas al LT3, donde cada nodo representa una institución y los vinculos representan la colaboración entre universidades y/o instituciones en la elaboración de 1 o más artículos científicos. Destaca la red de colaboración que involucra a la Universidad Austral de Chile, Universidad Católica de Temuco y Pontificia Universidad Católica de Chile (en color rojo) Adicionalmente, se observa una leve colaboración entre la Universidad de Chile y otras instituciones nacionales e

azul).



La producción científica del Laboratorio Temático 1 está concentrada en revistas de los cuartiles 1 y 2. Del total de las 14 principales revistas, 2 son de carácter nacional y 12 son internacionales (gráfico 8).

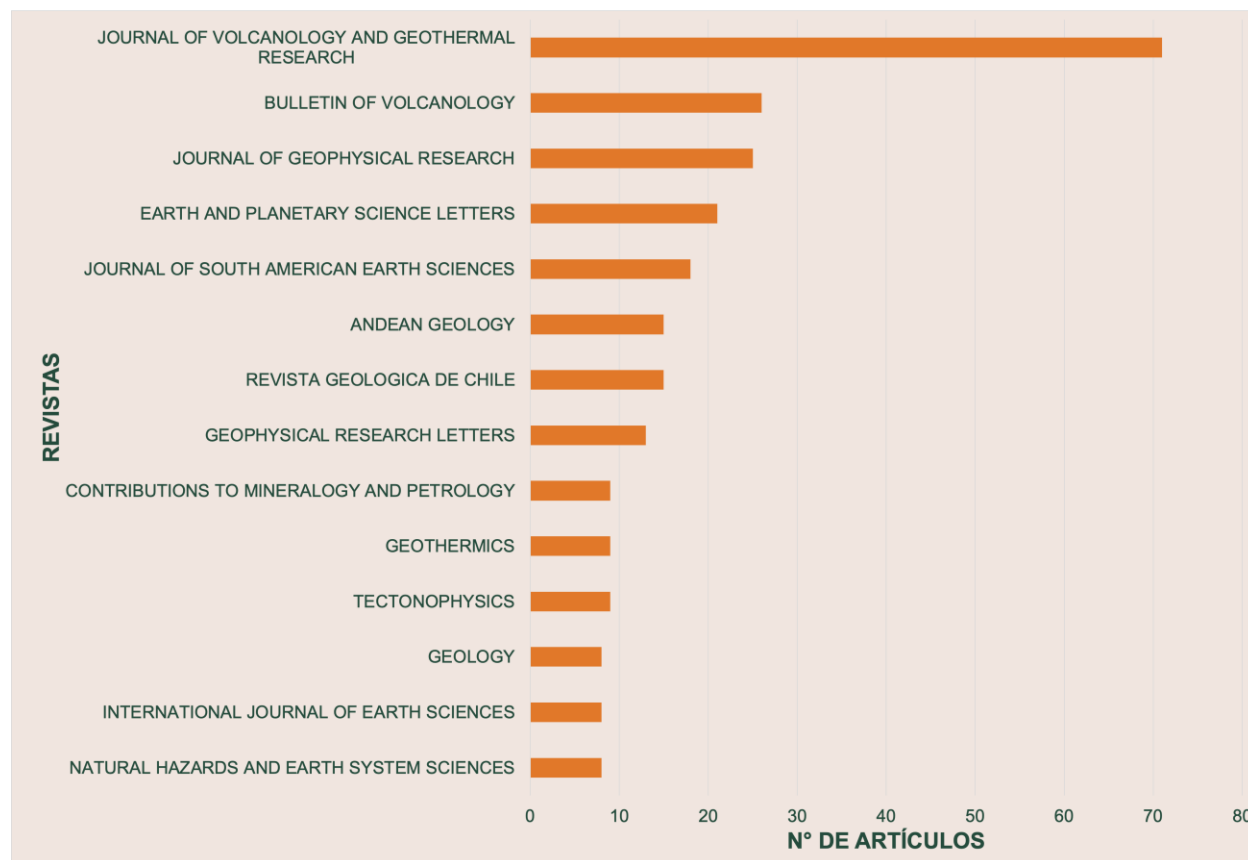


Figura 15. Principales revistas Laboratorio Temático 1.

2.4.2 Principales revistas Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

La figura 16 muestra las revistas más relevantes del LT2 en base al número de artículos publicados. Del total de las principales revistas, 2 son de carácter nacional y 12 son internacionales.

A diferencia del primer diagnóstico, la revista que presenta el mayor número de artículos es "Science of the Total Environment" (cuartil 1) con 13 artículos, aborda las categorías "química ambiental", "ingeniería ambiental", "contaminación" y "gestión y eliminación de residuos". En segundo puesto se encuentra la revista nacional "Gayana" (cuartil 4 del SJR) aborda las categorías "ciencia animal y zoología" y "ciencia acuática", se mantiene tal cual con 12 artículos. Finalmente, siguen las revistas "Forest Ecology and Management" y "Journal of biogeography" (ambas cuartil 1) con 10 publicaciones cada una, las que abordan las categorías "silvicultura", "gestión, seguimiento, política y derecho", "conservación de la naturaleza y del paisaje", "ecología" y "ecología, evolución, comportamiento y sistemática".

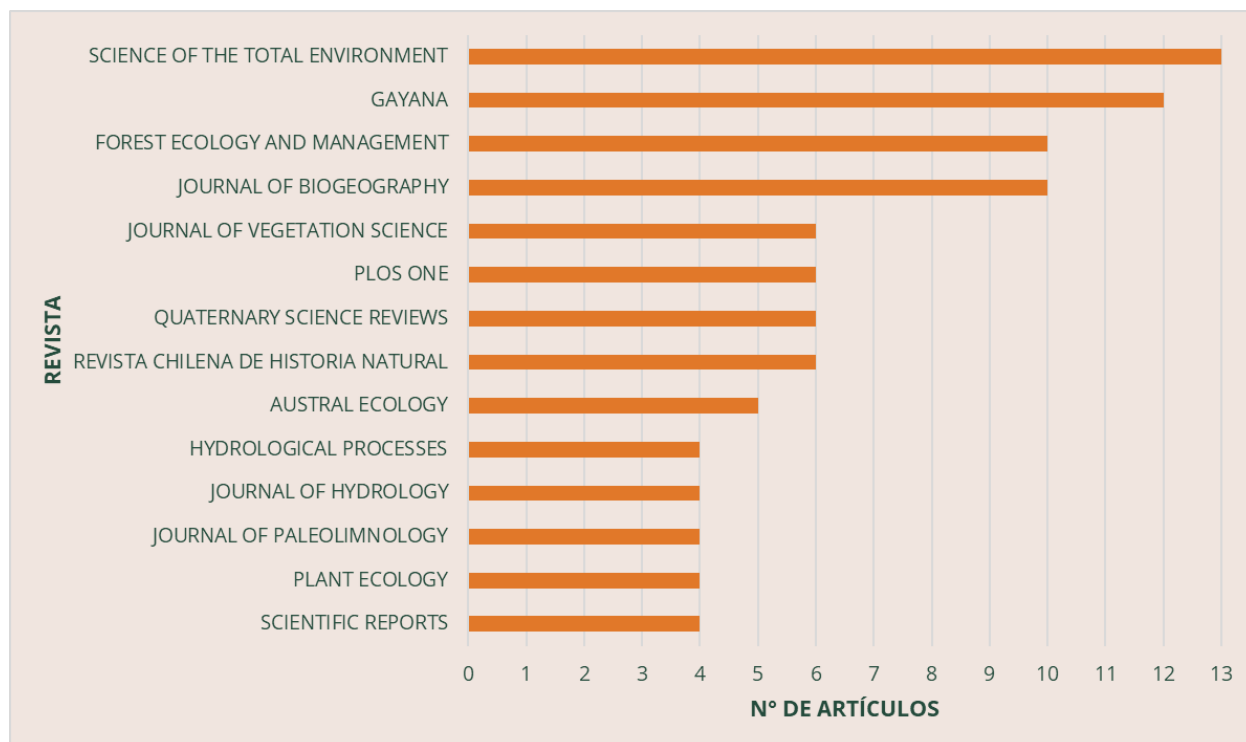


Figura 16. Principales revistas Laboratorio Temático 2.

2.4.2 Principales revistas Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

La figura 17 muestra las revistas más relevantes del LT3 en base al número de artículos publicados. La "*Revista de Geografía Norte Grande*" (Q3 del SJR en las categorías de "Procesos de la Tierra-Superficie" y "Geografía, Planificación y Desarrollo") presenta el mayor número de artículos publicados ($n=9$). En segundo lugar se encuentra la revista "*Chungara*" (Q1 del SJR en la categoría de "Arqueología" y Q2 en "Antropología") con 8 artículos publicados.

De las principales revistas, 11 son de carácter nacional y 3 son internacionales (gráfico 10). Adicionalmente, estas revistas se encuentran en los cuartiles 1, 2, 3 y 4 del SJR.

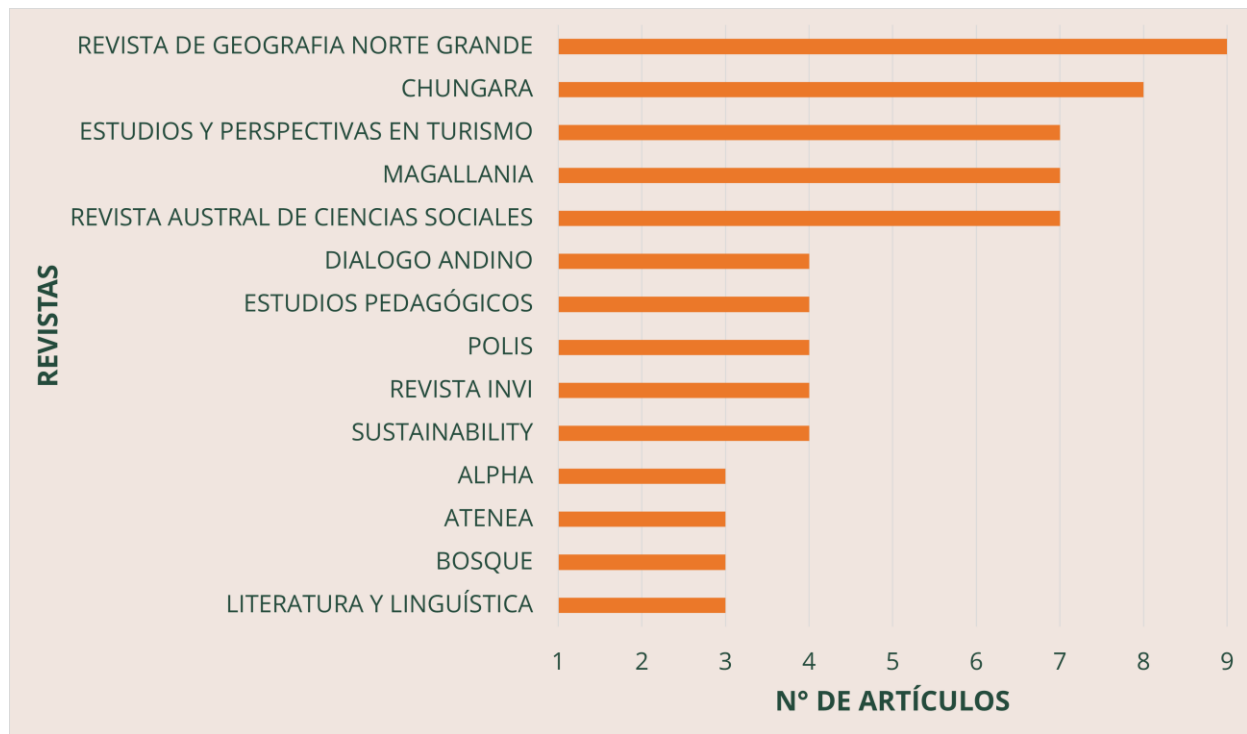


Figura 17. Principales revistas Laboratorio Temático 3.

2.5 Publicaciones Laboratorio Natural Andes del Sur

2.5.1 Principales publicaciones Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

La figura 18 muestra los artículos científicos del LT1 más citados a nivel global. El artículo "Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting" de Charles R. Stern, publicado en el año 2004 en la *Revista Geológica de Chile*, es el más citado del LT1 (449 citas). En segundo lugar, se encuentra el artículo "The Liquiñe Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in a southern Chile" de Jose Cembrano, Francisco Hervé y Alain Lavenue, publicado en el año 1996 en la revista internacional *Tectonophysics* (252 citas).

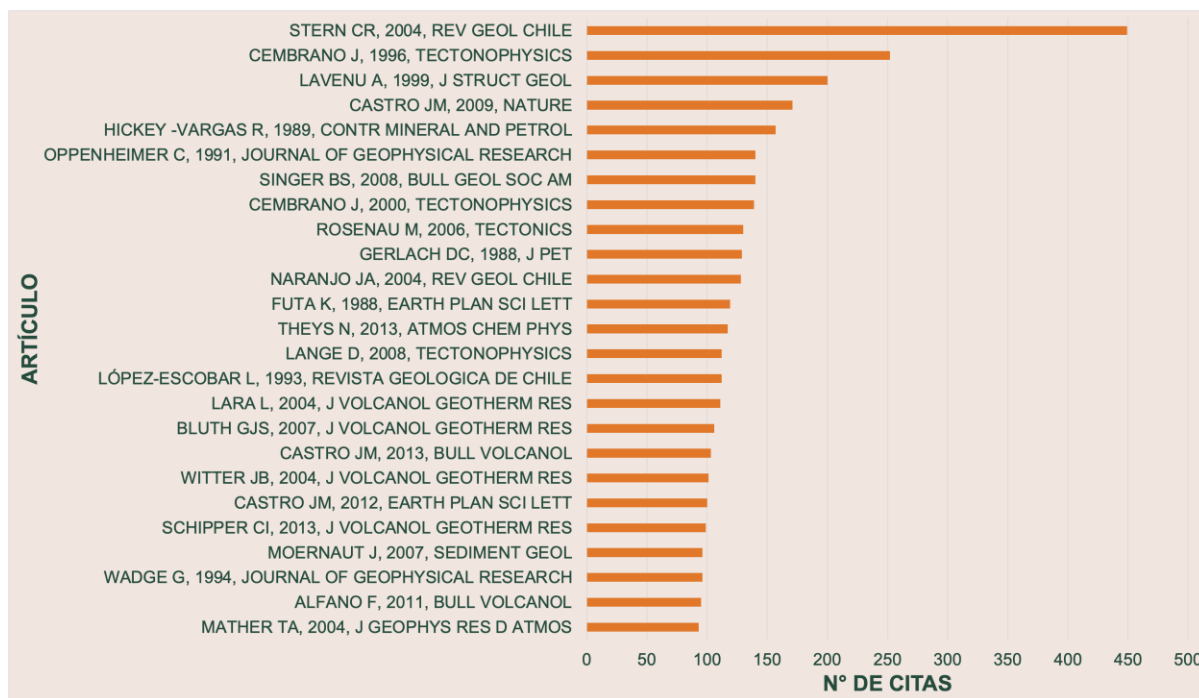


Figura 18. Principales publicaciones Laboratorio Temático 1.

2.5.2 Principales publicaciones Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

La figura 19 muestra los artículos científicos del LT2 más citados a nivel global. En esta actualización no hubo cambios en este resultado. Se mantiene como el artículo más citado "A Influence of Elevation, Land Use, and Landscape Context on Patterns of Alien Plant Invasions along Roadsides in Protected Areas of South-Central Chile" de Aníbal Pauchard y Paul B. Alaback, publicado en el año 2004 en la revista internacional *Conservation Biology*. Este artículo presenta 334 citas al igual que el primer año de diagnóstico. Esto mismo ocurre con el "The Last Glacial Maximum and deglaciation in southern South America" de Nicholas R. J Hulton y colaboradores, publicado en el año 2002 en la revista internacional *Quaternary Science Reviews* manteniéndose como el segundo artículo con 220 citas.

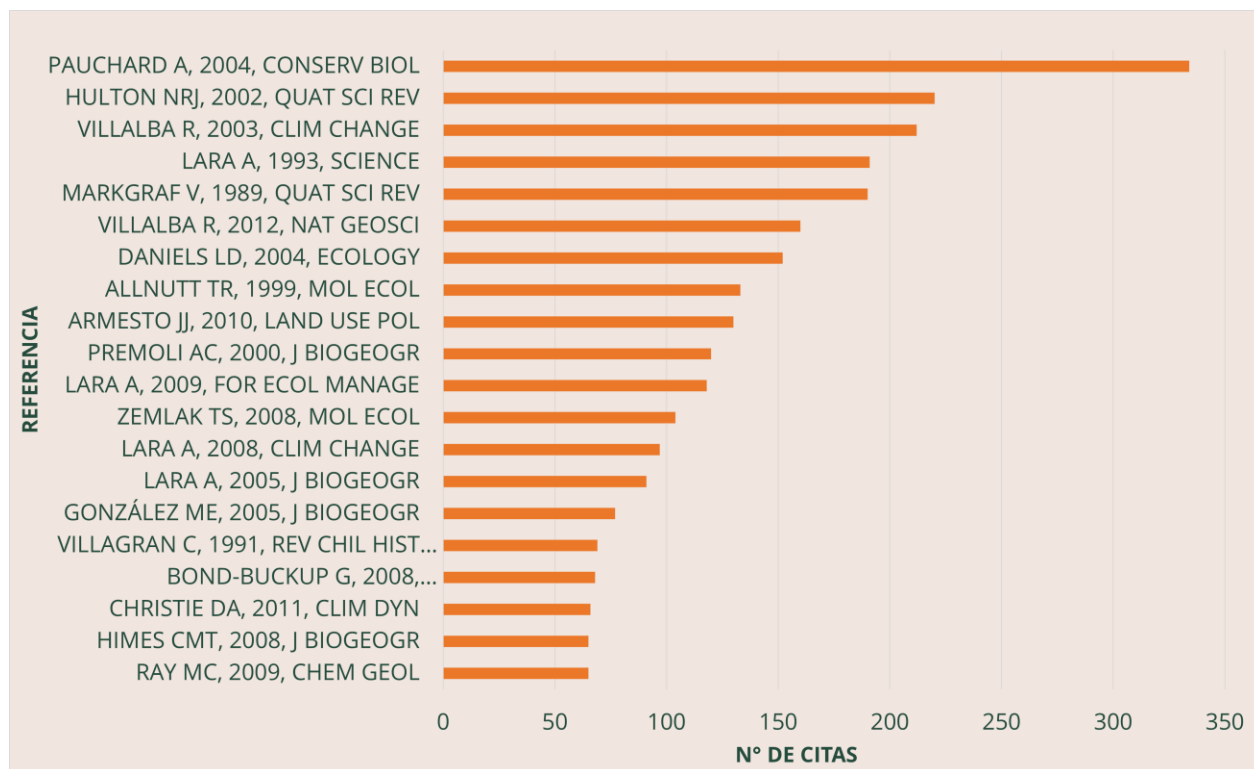


Figura 19. Principales publicaciones Laboratorio Temático 2.

2.5.3 Principales publicaciones Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

La figura 20 muestra los artículos científicos del LT3 más citados a nivel global. El artículo "Monte Verde: Seaweed, Food, Medicine, and the Peopling of South America" de Tom D. Dillehay y colaboradores, publicado en el año 2008 en la revista internacional *Science* es el más citado en el LT3 (364 citas). En segundo lugar, se encuentra el artículo "Drivers of land abandonment in Southern Chile and implications for landscape planning" de G. Ignacio Díaz y colaboradores, publicado en el año 2011 en la revista internacional *Landscape and Urban Planning* (112 citas).

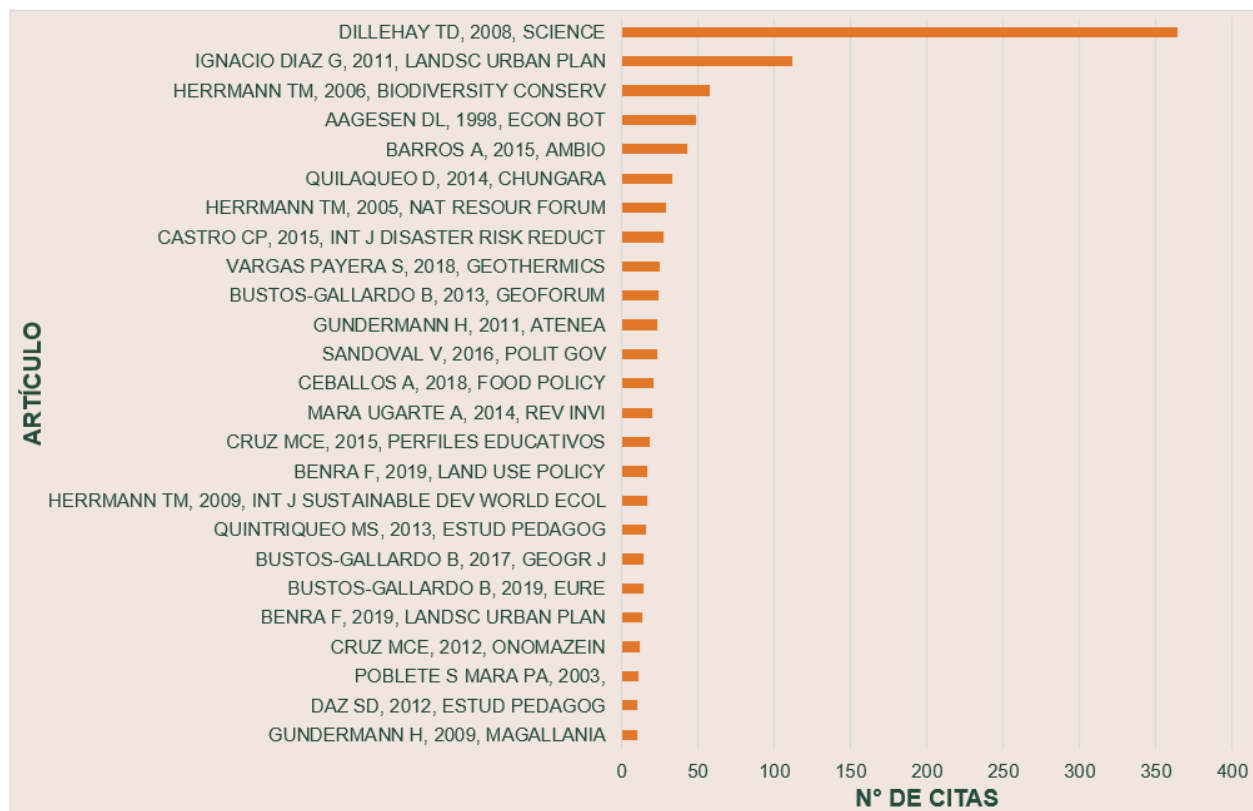


Figura 20. Principales publicaciones Laboratorio Temático 3.

2.6 Evolución de palabras claves Laboratorio Natural Andes del Sur

2.6.1 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

La figura 21 muestra la evolución de las principales palabras claves del LT1. Se observa que la palabra "Chile" presenta un aumento sostenido desde el año 1993. Las palabras "Chaitén volcano" y "Rhyolite" se comienzan a utilizar posterior a la erupción del volcán Chaitén en el año 2008. La palabra "Rhyolite" tiene un nuevo incremento en su frecuencia acumulada posterior a la erupción del volcán Cordón Caulle en el año 2011. Las palabras "Southern Volcanic Zone" y "Volcano Monitoring" se comienza a utilizar a partir del año 2007.

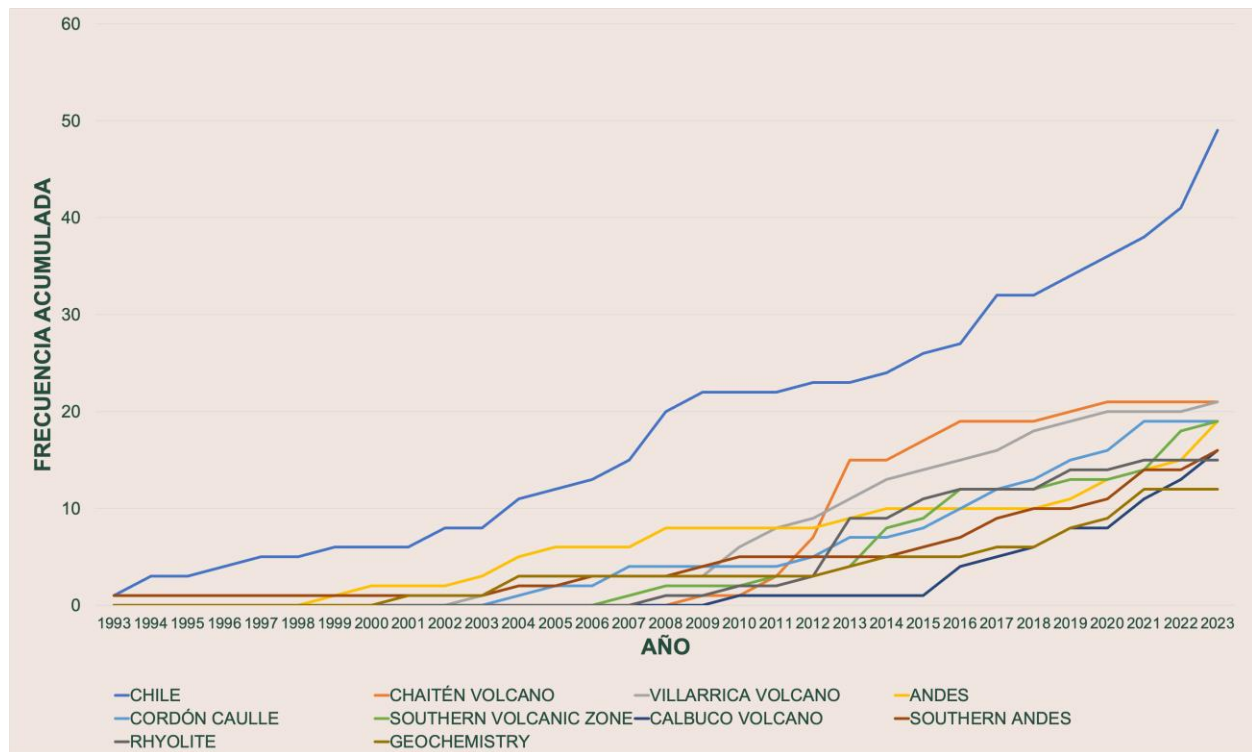


Figura 21. Dinámica de palabras Laboratorio Temático 1.

2.6.2 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

La figura 22 muestra la evolución de las principales palabras claves más utilizadas del LT2. Si comparamos con lo obtenido al primer año, las palabras se mantienen y tienden al crecimiento. Por lo mismo sigue en interés las temáticas como "Cambio climático", "bosques templados" y especies como "*Araucaria araucana*" y "*Nothofagus pumilio*".

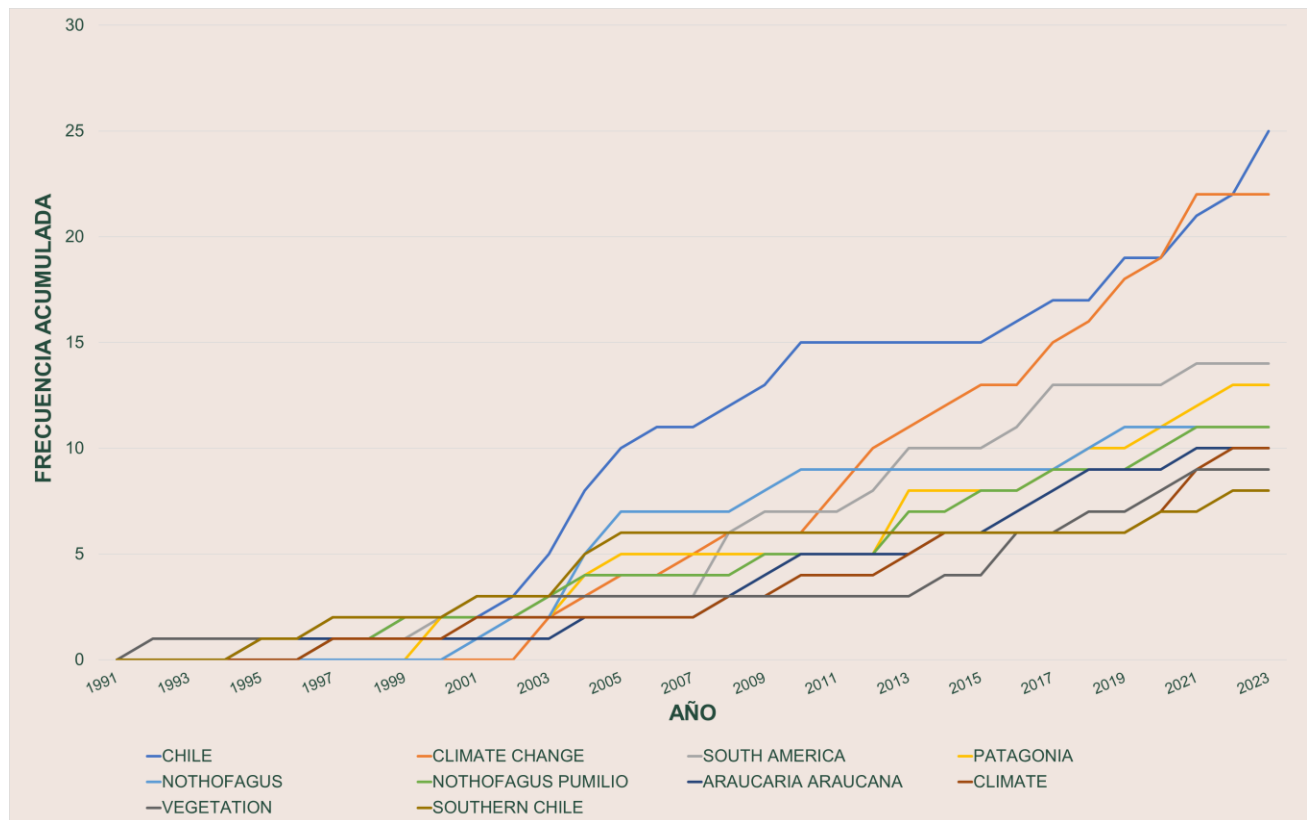


Figura 22. Dinámica de palabras Laboratorio Temático 2.

2.6.3 Evolución de palabras claves Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

La figura 23 muestra la evolución de las principales palabras claves del LT3. Se observa que los conceptos "Chile" y "Mapuche" presentan un aumento sostenido desde los años 2011 y 2015, respectivamente. Posterior al año 2012 se comienzan a utilizar las palabras claves "territorio", "paisaje" e "identidad". Desde el año 2015 se observa un incremento en la frecuencia acumulada de los conceptos "turismo" y "educación intercultural". Finalmente, en los últimos 6 años se observa un aumento en el uso de las palabras "Patagonia" y "Argentina" en las publicaciones asociadas al LT3.

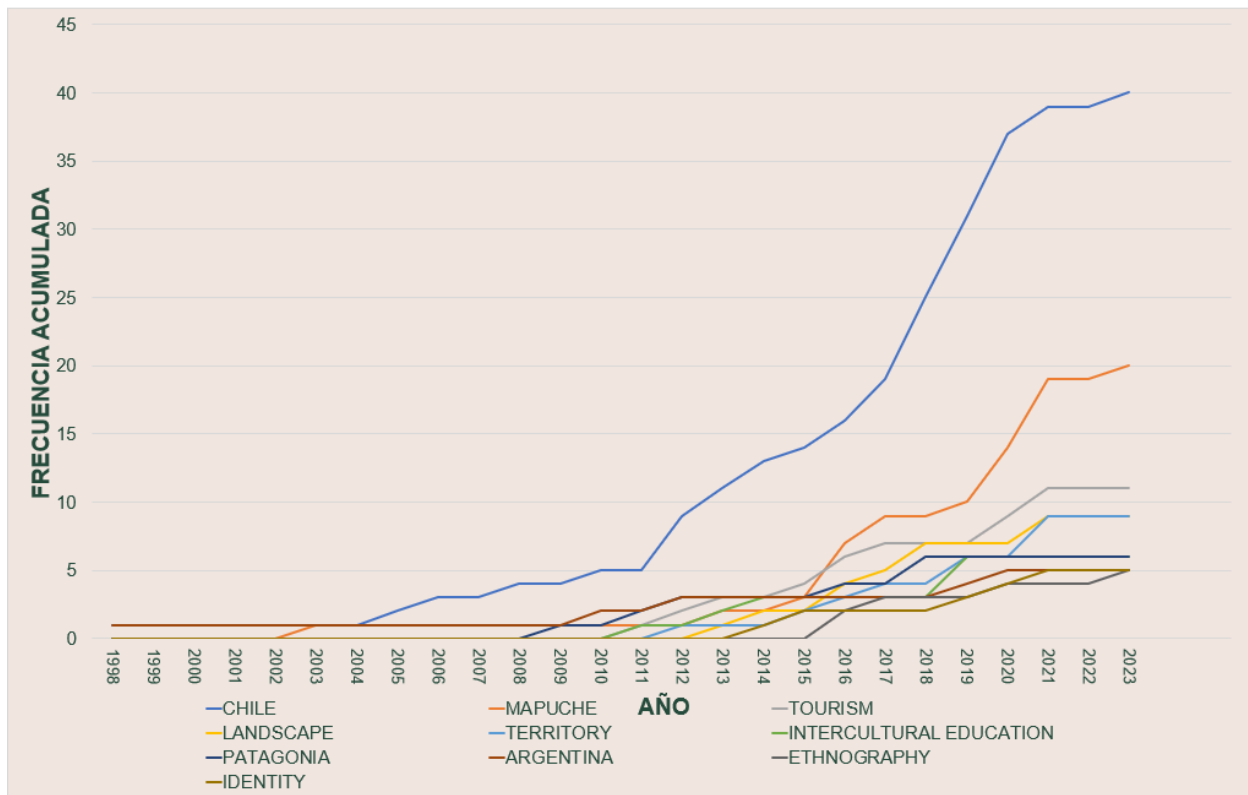


Figura 23. Dinámica de palabras Laboratorio Temático 3.

2.7 Colaboración internacional Laboratorio Natural Andes del Sur

2.7.1 Colaboración internacional Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica (LT1)

La figura 24 muestra un mapa mundial de colaboración científica internacional, donde los colores más oscuros representan los países con mayor producción científica asociadas al LT1 (Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Argentina). Las líneas marrón representan los vínculos internacionales considerando una co-producción de mínimo 1 artículo. Destaca la colaboración entre Chile y Estados Unidos, Argentina, países europeos, Australia y Nueva Zelanda.

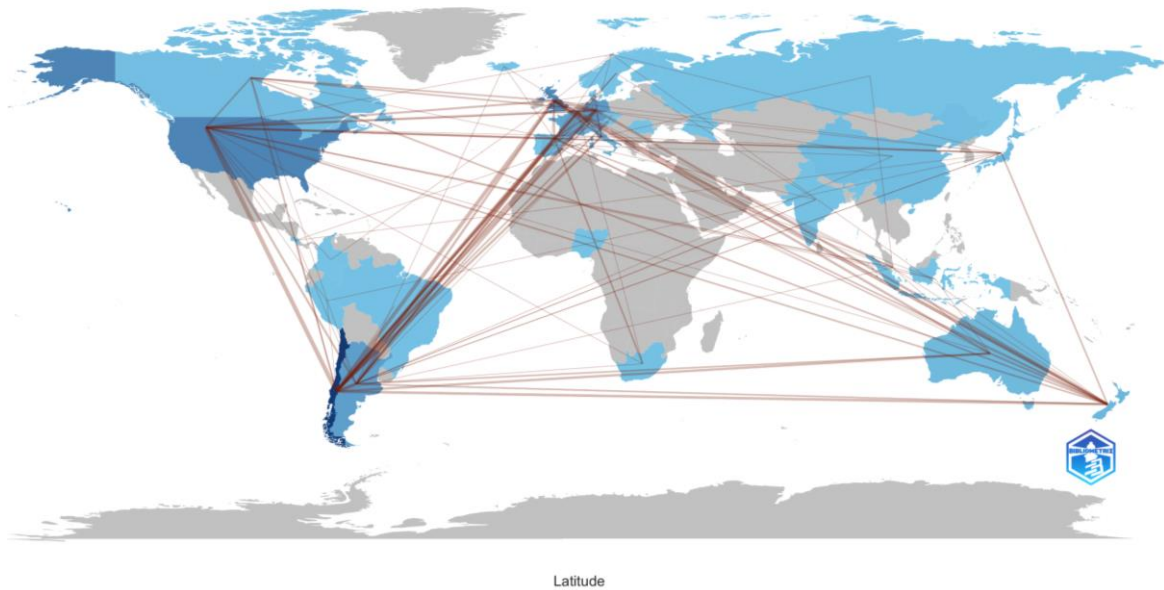


Figura 24. Mapa de colaboración internacional Laboratorio Temático 1.

2.7.2 Colaboración internacional Laboratorio Temático Cambio Global: Interacción Bosque, Suelo y Recursos hídricos (LT2)

La figura 25 muestra un mapa mundial de colaboración científica internacional, donde los colores más oscuros representan los países con mayor producción científica asociadas al LT2. Las líneas rojas representan los vínculos internacionales considerando una co-producción de mínimo 1 artículo. Destaca la colaboración entre Chile y Estados Unidos, Argentina, Reino Unido, Alemania, Canadá, Japón, Australia y Nueva Zelanda.

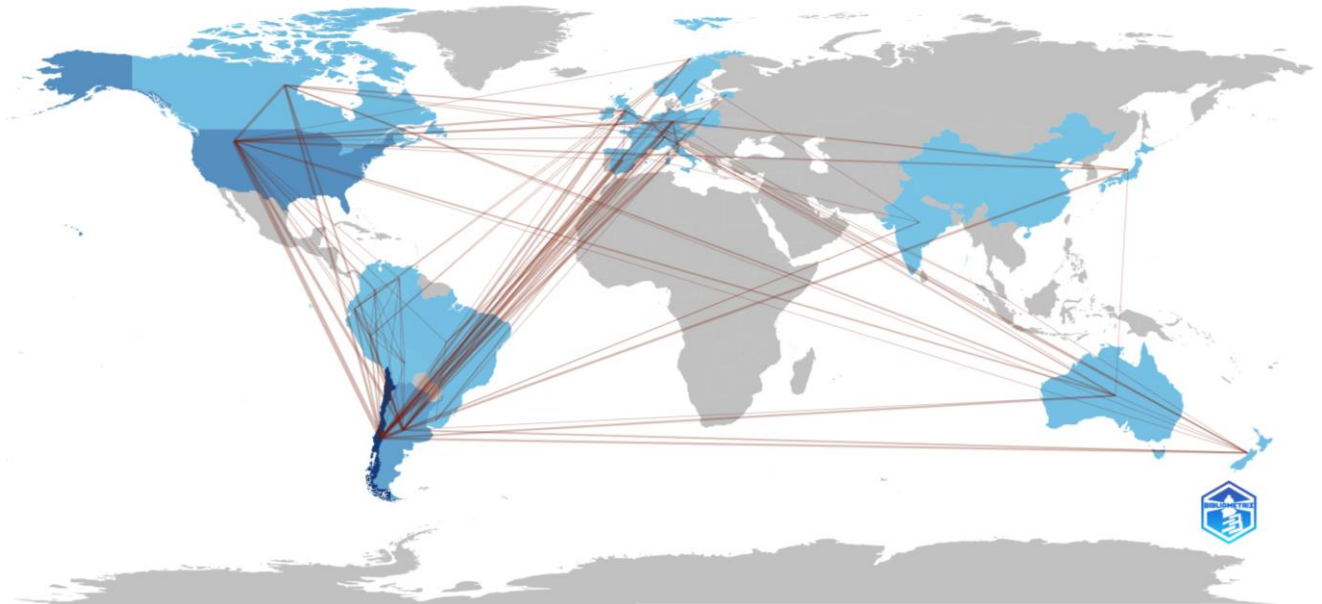


Figura 25. Mapa de colaboración internacional Laboratorio Temático 2.

2.7.3 Colaboración internacional Laboratorio Temático Modos de Vida y Habitar de Montaña (LT3)

La figura 26 muestra un mapa mundial de colaboración científica internacional, en el cual, los colores más oscuros representan los países con mayor producción científica asociada al LT3 (España y EE.UU). Las líneas rojas representan los vínculos internacionales considerando una co-producción de mínimo 1 artículo. Destaca la colaboración entre Chile y EEUU, España, Alemania e Inglaterra, como también la vinculación con otros países latinoamericanos asociados al cordón andino como Argentina, Colombia y Bolivia.

Country Collaboration Map

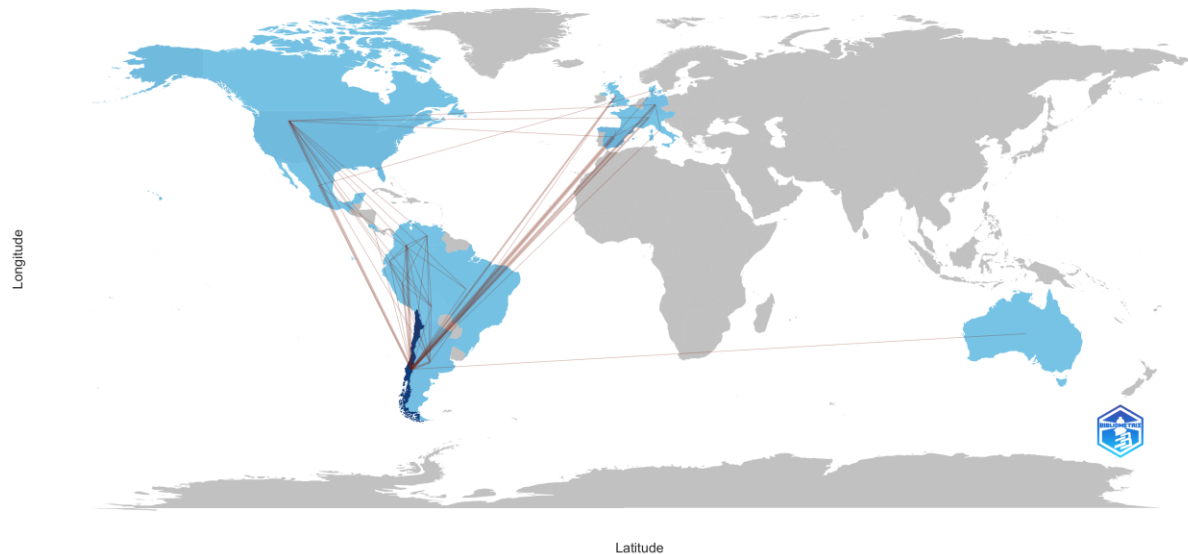


Figura 26. Mapa de colaboración internacional Laboratorio Temático 3.

3. Conclusiones

El presente estudio analiza los principales indicadores bibliométricos sobre la producción científica durante el período 1982-2023 en el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile. La comunidad científica, tanto nacional como internacional, ha puesto interés en las singularidades de este territorio, lo que se observa en el crecimiento exponencial de la producción científica (904 documentos totales), principalmente a partir de la última década.

La mayor producción científica está concentrada en el LT1, lo cual estaría relacionado con la existencia de mayores redes de colaboración nacional e internacional entre investigadores/as e instituciones que realizan ciencia en el LT1. Además, esta mayor producción coincide con la erupción del volcán Chaitén en 2008 y volcán Calbuco en 2016, eventos naturales de alto interés para las disciplinas involucradas en el LT1. En el año 2009 se creó la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), lo que implicó el fortalecimiento del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), ampliando así la cobertura del monitoreo volcánico y un aumento en la comprensión de los sistemas volcánicos a nivel nacional. Este tipo de acciones incrementan el levantamiento de información geológica que implica la investigación a temas relacionados con el LT1.

La menor productividad científica en LT2 y LT3, en comparación con LT1, podría estar asociada a un menor número de investigadores/as y redes de co-autorías. En particular, los investigadores/ras del LT2 y sus redes de trabajo se caracterizan por desarrollar ciencia con enfoques disciplinares (estudios específicos en biología, glaciología, paleontología, etc). Asimismo, en el LT3, tanto el número de investigadores/as como las redes de colaboración que surgen entre autores/as son menores. En este sentido, es importante considerar las limitaciones que existen al analizar las redes solo a través de los artículos indexados, dejando de lado otras fuentes de producción científica tales como capítulos de libros, manuscritos,

informes públicos, entre otros. A pesar de lo anterior, tanto en el LT2 como en LT3, destaca un crecimiento sostenido de la producción científica desde el año 2018. Lo anterior, podría estar asociado a las actuales crisis ambientales que ponen en relevancia disciplinas asociadas al cambio global, conflictos socioambientales, conocimientos locales, entre otros.

Con respecto a las principales autorías, es posible destacar la presencia de investigadores e investigadoras asociadas a la red del Laboratorio Natural Andes del sur, como es el caso del investigador colaborador Luis Lara en el LT1 y de la directora del LN Carla Marchant junto al investigador principal del LT3 Tomás Ibarra en este mismo laboratorio temático. En tanto, el LT2 no cuenta con la participación de investigadores y/o investigadoras de la red que destaquen por su contribución a la producción científica en revistas indexadas.

En este mismo sentido en el Laboratorio Temático 1 se refleja una marcada brecha de género representada por la baja participación de mujeres. Lo anterior, podría estar relacionado con la preferencia de las mujeres en ingresar a carreras relacionadas con áreas de salud, educación y ciencias sociales, en lugar de ciencias básicas, tecnología, ingeniería y matemáticas; tal como se menciona en el diagnóstico de igualdad de Género en Ciencia, Tecnología e Innovación en Chile que realizó CONICYT en el año 2017. Debido a que el LT3 posee un componente más social con respecto al LT1 y el LT2, no es raro esperar que en el primero exista un mayor porcentaje de mujeres realizando ciencia en comparación con los otros dos Laboratorios Temáticos. Además, esta brecha de género responde a que históricamente la presencia de las mujeres en ciencia ha sido desigual, lo cual estaría relacionado a diferentes factores asociados al acceso al conocimiento, roles de género, desigualdades estructurales, entre otras.

Con respecto a las principales instituciones del Laboratorio Natural, resalta la presencia de universidades nacionales. En el LT1 destacan como principales instituciones la Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile, lo cual evidencia una mayor participación de universidades externas al territorio del Laboratorio Natural, lo cual podría entenderse dado la antigüedad de la escuela de geología de la UCH en el contexto nacional. De forma similar es el caso del LT2, con la distinción de que la principal institución con mayor número de publicaciones es la Universidad Austral de Chile en la cual las destaca la trayectoria de disciplinas como Recursos Forestales y Agronomía, mientras que en segundo y tercer lugar se encuentra la Universidad de Concepción y la Universidad de Chile. De forma distintiva el LT3 reúne a instituciones que residen y/o mantienen sede en el territorio del Laboratorio Natural, como es el caso de la Pontificia Universidad Católica de Chile con campus en la ciudad de Villarrica en la región de la Araucanía, seguido por la Universidad Austral de Chile con presencia en la región de Los Ríos y de Los Lagos, mientras que la Universidad de Los Lagos con sede en la región del mismo nombre se constituye como la tercera en mayor número de publicaciones.

Con base a lo anterior, se observa una centralización de la dirigencia de la producción de conocimiento que deja en menor grado, otras instituciones académicas regionales, internacionales, fundaciones o centros de investigación.

En cuanto a las revistas más influyentes del LN, se observa la mayor presencia de publicaciones en revistas internacionales tanto para el LT1 como para el LT2. Diferente es lo que ocurre con el LT3, que presenta menores publicaciones en revistas internacionales lo que podría relacionarse con las temáticas de las revistas, los altos costos de las publicaciones, como también, la publicación en otros tipos de fuentes. Por otro lado, la producción científica

en LN está concentrada en revistas de alto impacto (cuartiles 1 a 3) según el indicador SCImago Journal Rank (SJR), lo que estaría demostrando una alta visibilidad y calidad de las investigaciones que se realizan en el LN por la comunidad científica nacional e internacional.

Respecto a los artículos destacados, los primeros tres documentos más citados a nivel global del LT1 abordan temáticas relacionadas al volcanismo activo andino y tectónica. Por otro lado, el artículo más citado del LT2, estudia la propagación de comunidades exóticas en el Parque Nacional Villarrica, los dos siguientes corresponden a paleo-estudios que abarcan una mayor escala espacial y temporal. En relación con los tres artículos más citados del LT3, se observa que estos abordan temáticas de arqueología, planificación territorial y conocimiento ecológico local.

En el LN, también se observa cómo la investigación científica trasciende el campo disciplinar y responde a interrogantes complejas a partir de la interdisciplina. Lo anterior se evidencia en artículos que vinculan Líneas Temáticas, tales como "The effects of volatile recycling, degassing and crustal contamination on the helium and carbon geochemistry of hydrothermal fluids from the Southern Volcanic Zone of Chile" de Ray, *et al.*, (2009). Este artículo vincula el LT1 con el LT2 al indagar sobre cómo ciertos procesos geoquímicos en localidades geotérmicas de la Zona Volcánica Sur resultan en una pérdida de CO₂ que exacerba los efectos de la contaminación cortical, una perturbación natural que influye en la interpretación del ciclo de nutrientes de los suelos. Asimismo, artículos como "Understanding social acceptance of geothermal energy: Case study for Araucanía region, Chile" (Vargas, 2018) relaciona temáticas de LT1 con LT3, al explorar las opiniones públicas y las actitudes sociales hacia el uso de la energía geotérmica como fuente de calefacción y electricidad en Villarrica, Región de la Araucanía. Por otro lado, trabajos como "Indigenous knowledge and management of *Araucaria araucana* forest in the Chilean Andes: implications for native forest conservation" (Herrmann, 2006), indagan en el conocimiento ecológico, valores, uso y gestión del bosque de *Araucaria araucana* por comunidades mapuche pewenche, y su contribución a la gestión sostenible de estos bosques, vinculando temáticas de LT2 con LT3.

Destaca el artículo de Major y Lara (2013) denominado "Overview of Chaitén Volcano, Chile, and its 2008-2009 eruption" que reúne los tres Laboratorios Temáticos, al referirse a la historia eruptiva del volcán Chaitén y la cronología de la erupción 2008-2009. Lo anterior, se analiza desde una perspectiva geológica, evaluando los efectos sobre la vegetación forestal, el cambio en la dinámica de ríos producto de la gran carga de sedimentos a partir de la deposición de tefra, la interrupción de la vida cotidiana de la población y los severos daños provocados en la infraestructura y agricultura, tanto en la ciudad de Chaitén como en los sectores aledaños.

Existe una predominancia de interés científico a nivel internacional por parte de EE.UU, países europeos, Australia, Argentina y Brasil. El LT1 destaca presentando una mayor participación internacional en comparación con LT2 y LT3, integrando países de los continentes Asia y África. No obstante, LT1 y LT2 comparten similitudes en la cantidad de redes de colaboración, a causa de que estos países cuentan con laboratorios analíticos específicos necesarios para las etapas metodológicas de los estudios geológicos, paleontológicos y edafológicos. Cabe destacar, que el LT2 y LT3 mantienen redes de colaboración con Colombia, Argentina y Bolivia, países latinoamericanos asociados a la presencia de Los Andes en Sudamérica.

Finalmente, los resultados expuestos en el análisis bibliométrico sirven como línea base para identificar los principales actores, instituciones y redes de investigación nacional e

internacional asociadas a los Laboratorios Temáticos del LN. Sin embargo, resulta relevante considerar que existen otras fuentes de información científica en el territorio que ampliarían los resultados obtenidos en el presente estudio. Asimismo, la presencia de enfoques transdisciplinarios en investigaciones, permitiría avanzar en la articulación del mundo científico con la diversidad de actores no académicos (tomadores de decisiones de servicios públicos, actores privados, ONGs, sociedad civil organizada, comunidades locales, entre otros). Lo anterior, permitiría direccionar las futuras investigaciones para que sean pertinentes con las demandas del territorio.

Anexo 1.b

Manifestación territorial de la producción científica del Laboratorio Natural Andes del Sur (1982–2021)

Síntesis de resultados del Laboratorio Temático N°1: Evolución y Herencia Geológica

INDICE

- 1. Introducción**
- 2. Objetivo**
- 3. Metodología**
 - 3.1 Revisión de artículos científicos**
 - 3.2 Georreferenciación y construcción de cartografía**
 - 3.3 Análisis descriptivo de la producción científica**
- 4. Resultados**
 - 4.1 Identificación de hitos geográficos**
 - 4.2 Distribución espacial de la producción científica**
 - 4.3 Toponimia y diversidad de denominaciones**
- 5. Discusión**
- 6. Productos generados**

1. Introducción

El presente informe consolida los resultados del proceso de revisión y sistematización de la producción científica asociada al Laboratorio Temático N°1 “Evolución y Herencia Geológica”, en el marco del proyecto Laboratorio Natural Andes del Sur. Este programa busca fortalecer el conocimiento científico, promover investigación de frontera y contribuir a la valoración y conservación de los territorios de montaña del sur de Chile, específicamente en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

En una primera etapa del proyecto se desarrolló un análisis bibliométrico de la producción científica vinculada al territorio de estudio. Sin embargo, la información espacial asociada a los artículos se encontraba registrada principalmente a nivel de unidades político-administrativas (región o comuna), lo que limitaba la posibilidad de identificar con precisión los lugares específicos donde se concentra la investigación científica.

A partir de esta necesidad, el trabajo desarrollado se orientó a identificar, sistematizar y georreferenciar los hitos geográficos específicos presentes en los artículos científicos, permitiendo así caracterizar con mayor detalle la manifestación territorial de la producción científica vinculada a la evolución geológica de los Andes del Sur.

2. Objetivo

Analizar la distribución espacial de la investigación científica producida entre los años 1982 y 2021 en el Laboratorio Temático N°1 “Evolución y Herencia Geológica”, mediante la identificación y georreferenciación de los hitos geográficos asociados a los estudios científicos.

De manera específica, el trabajo se orientó a:

- Localizar los hitos geográficos asociados a los estudios científicos analizados.
- Identificar patrones de distribución espacial en la producción científica del laboratorio temático.
- Describir la manifestación territorial de la investigación científica en el área de estudio.

3. Metodología

El proceso metodológico se estructuró en tres etapas principales: identificación de hitos geográficos, georreferenciación de la información y análisis espacial de los resultados.

3.1 Revisión de artículos científicos

Se revisaron un total de 388 artículos científicos asociados al Laboratorio Temático N°1 “Evolución y Herencia Geológica”. La identificación de los elementos geográficos analizados en cada estudio se realizó mediante la lectura sistemática de los apartados de introducción y metodología de cada artículo, profundizando en otras secciones cuando fue necesario para identificar con claridad el objeto de estudio.

Para cada artículo se registró la información en una base de datos en formato Excel, incorporando los siguientes campos:

- Identificador del artículo
- Coordenadas geográficas (X, Y) cuando estas se encontraban disponibles
- Área de estudio cuando el artículo no especificaba coordenadas puntuales
- Toponimia asociada al hito geográfico
- Tipo de hito identificado
- Observaciones relacionadas con el objetivo del estudio, fenómeno analizado o palabras clave relevantes

Durante este proceso se identificaron 19 tipos de hitos geográficos, tales como volcanes, lagos, fallas geológicas, formaciones geológicas y unidades estructurales, entre otros.

Cabe destacar que un mismo artículo podía incorporar múltiples hitos geográficos, debido a que varios estudios abordan procesos geológicos que involucran más de un elemento del paisaje. Como resultado, se registró un total de 1981 hitos asociados a la producción científica analizada.

3.2 Georreferenciación y construcción de cartografía

La información recopilada fue posteriormente procesada mediante el software QGIS versión 3.16.1. En esta etapa se desarrollaron dos tipos de representaciones espaciales:

- Capa vectorial de hitos georreferenciados, representados como puntos cuando fue posible identificar coordenadas específicas.
- Capa vectorial de áreas de estudio, generada mediante fotointerpretación y digitalización de polígonos en los casos en que los artículos describían un área de investigación más amplia.

Ambas capas fueron construidas utilizando el sistema de referencia geográfica WGS84 / EPSG:4326.

Posteriormente, se aplicaron herramientas de agrupación espacial (clustering) para representar visualmente la concentración de estudios en el territorio. El tamaño de los símbolos se definió utilizando el parámetro *@cluster_size*, lo que permitió dimensionar gráficamente la densidad de hitos asociados a la producción científica.

3.3 Análisis descriptivo de la producción científica

Finalmente, se realizó un análisis descriptivo de la información espacial obtenida, con el objetivo de identificar zonas de concentración y dispersión de la investigación científica en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Este análisis se complementó con la revisión de los campos de toponimia asociada, tipo de hito y observaciones, lo que permitió contextualizar los patrones espaciales observados en la cartografía.

Adicionalmente, para cada categoría temática del laboratorio se elaboraron nubes de palabras a partir de los términos más recurrentes presentes en los registros de la base de datos, con el objetivo de identificar tendencias en los temas de investigación predominantes.

4. Resultados

4.1 Identificación de hitos geográficos

La revisión de la literatura científica permitió identificar 19 tipos de hitos geográficos, los cuales corresponden a elementos del paisaje que actúan como objeto de estudio en las investigaciones geológicas.

En total se registraron 1981 hitos asociados a los 388 artículos revisados, evidenciando la diversidad de fenómenos geológicos estudiados en el territorio de los Andes del Sur.

Entre las principales categorías de investigación identificadas se encuentran:

- Volcanología y peligro volcánico
- Paleontología y sedimentología
- Procesos de remoción en masa
- Tectónica y peligro sísmico
- Mineralogía y petrología
- Geotermia y sistemas hidrotermales



Lago Falla Volcán Sistema Geotermal Zona Volcánica

Cada una de estas categorías presenta una distribución territorial específica, asociada a las características geológicas del territorio andino del sur de Chile.

4.2 Distribución espacial de la producción científica

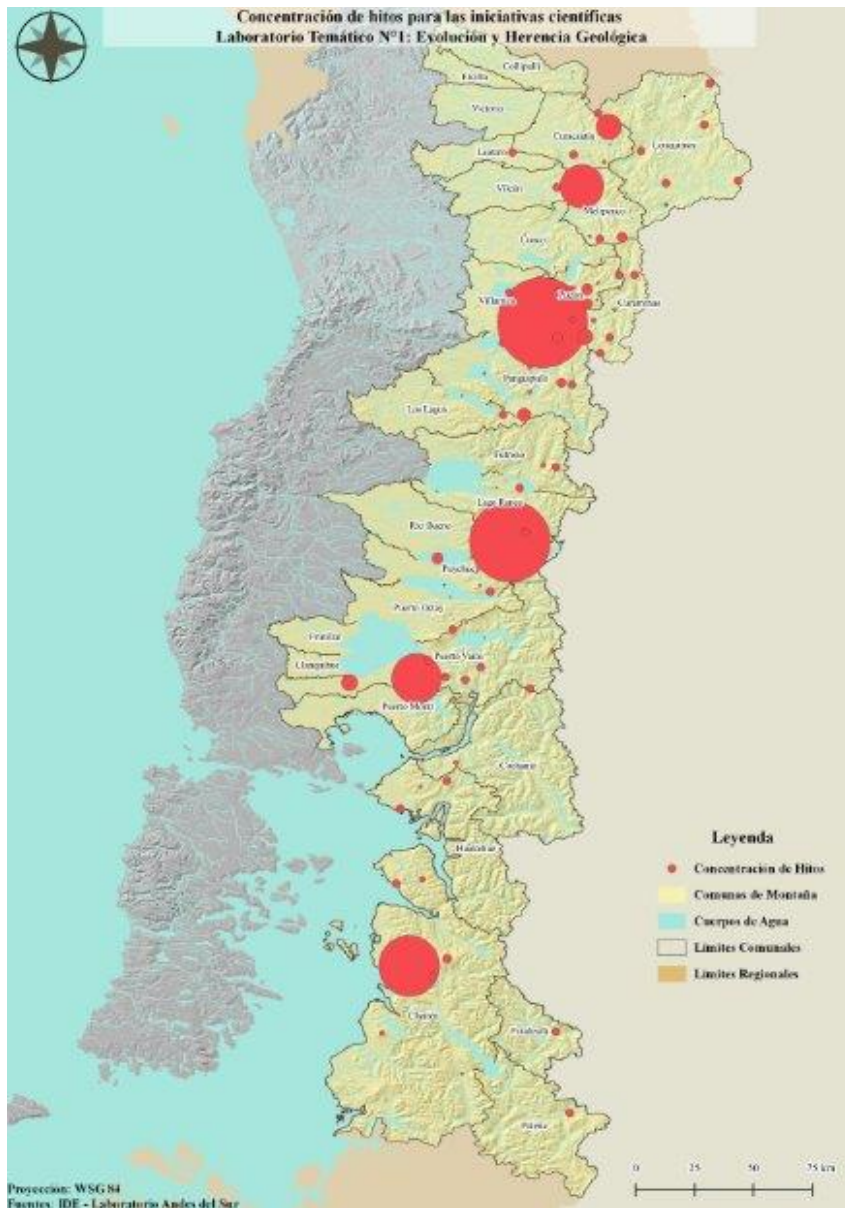
El análisis cartográfico evidenció que la producción científica presenta patrones de concentración espacial claramente identificables dentro del área de estudio.

Una de las principales zonas de concentración se localiza en el segmento central de la cordillera andina, particularmente entre el volcán Villarrica y el Complejo Volcánico Puyehue–Cordón Caulle. Esta área coincide con un sector activo de la Zona Volcánica Sur de los Andes, caracterizado por una alta densidad de volcanes activos y una dinámica tectónica significativa.

La presencia de estructuras tectónicas regionales, como la Zona de Falla Liquiñe–Ofqui, también influye en la concentración de investigaciones, debido a su relevancia para el estudio de procesos volcánicos, tectónicos y geotermales.

En contraste, hacia los extremos norte y sur del área de estudio —correspondientes a los límites regionales de La Araucanía y Los Lagos— se observa una mayor dispersión de los

estudios científicos, lo que sugiere una menor densidad de investigaciones o un enfoque más heterogéneo en los objetos de estudio.



4.3 Toponimia y diversidad de denominaciones

El análisis de la base de datos también evidenció una alta diversidad de toponimias utilizadas para referirse a un mismo tipo de hito geográfico. En muchos casos, los artículos utilizan diferentes denominaciones para describir un mismo elemento del paisaje o fenómeno geológico, lo que generó inicialmente dificultades para su clasificación.

Para abordar esta situación, fue necesario realizar un proceso de homologación conceptual, agrupando términos equivalentes dentro de una misma categoría de hito geográfico.

Asimismo, se observó que numerosos artículos delimitan su área de estudio mediante recuadros o extensiones territoriales amplias, lo que implica que un mismo estudio puede incluir múltiples hitos geográficos dentro de su área de análisis. Esta característica

contribuye a explicar el elevado número de hitos identificados en relación con el número total de artículos revisados.

5. Discusión

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la producción científica vinculada al Laboratorio Natural Andes del Sur presenta una fuerte relación con las características geológicas y tectónicas del territorio.

Las zonas de mayor concentración de estudios coinciden con sectores donde se manifiestan procesos geológicos activos o de alto interés científico, tales como volcanismo, tectónica activa y sistemas hidrotermales. Esto sugiere que la investigación científica tiende a concentrarse en áreas donde los fenómenos naturales presentan mayor relevancia para comprender la evolución geológica de los Andes del Sur.

Asimismo, el análisis evidencia que la investigación científica no se distribuye homogéneamente en el territorio, sino que responde a patrones espaciales asociados tanto a las características físicas del paisaje como a las trayectorias históricas de la investigación geológica en la región.

La identificación y georreferenciación de los hitos geográficos permite, por tanto, construir una visión más detallada del paisaje científico del territorio andino del sur de Chile, aportando información relevante para futuras investigaciones, planificación científica y gestión del conocimiento en el marco del Laboratorio Natural Andes del Sur.

6. Productos generados

Como resultado del trabajo realizado se generaron los siguientes productos:

- Base de datos consolidada en formato XLSX con los hitos geográficos identificados.
- Capa vectorial de hitos georreferenciados (SHP).
- Capa vectorial de áreas de estudio (SHP).
- Cartografía temática que representa la concentración y dispersión de la producción científica en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur.
- Informe descriptivo que sintetiza los principales hallazgos del análisis espacial realizado.

Anexo 1.c

Sistematización del proceso de actualización del mapa de actores del Laboratorio Natural Andes del Sur

Índice de contenidos

1. Introducción
2. Metodología
3. Resultados
 - 3.1 Ecosistema CTCi del LNADS
 - 3.2 Actorías según su importancia e influencia en torno a los objetivos del LNADS
4. Conclusiones
 - 4.1 Síntesis de flujos estratégicos para la ciencia de montaña
 - 4.2 Síntesis estratégica y lineamientos para la articulación del LNADS

1. Introducción

En el contexto de la implementación de esta etapa de fortalecimiento del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS), el análisis del ecosistema de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCi) se posiciona como un insumo clave para la definición de la hoja de ruta y de las acciones que estructuran sus componentes estratégicos: Ciencia, Incidencia y Comunicación.

La amplitud del alcance del proyecto, al abarcar 28 comunas cordilleranas y tres regiones, releva la necesidad de construir una visión integral del ecosistema, orientada a fortalecer y actualizar la gobernanza del LNADS, así como a identificar y priorizar articulaciones territoriales estratégicas que permitan potenciar el desarrollo de ciencia con impacto y su vinculación con la toma de decisiones.

En este contexto, la multiplicidad de actorías y la dinámica propia del ecosistema hacen necesaria la actualización de las interrelaciones que lo configuran. Este diagnóstico permite no solo caracterizar a las actorías, sino también analizarlas en función de su nivel de incidencia e importancia, constituyendo una base analítica para la identificación de oportunidades de articulación y la definición de estrategias de vinculación en el corto, mediano y largo plazo.

2. Metodología

La construcción del mapa de actores del LNADS se remonta a la etapa 1 del diagnóstico del laboratorio, cuyos resultados permitieron sustentar diversas articulaciones estratégicas y sentar las bases de la hoja de ruta vigente. En esta nueva etapa, su actualización se vuelve fundamental para identificar nuevas actorías relevantes y proyectar, en el corto, mediano y largo plazo, las vinculaciones necesarias para la implementación de dicha hoja de ruta.

En este contexto, la actualización del mapa de actores del Laboratorio Natural Andes del Sur se desarrolló mediante un proceso participativo de sistematización y discusión, en el que participaron investigadores/as del laboratorio. Este proceso estuvo orientado a revisar la composición del ecosistema CTCi vinculado a los territorios de montaña, así como a identificar nuevas actorías relevantes para la investigación, la gestión territorial y la producción de conocimiento. Asimismo, se incorporaron aquellas actorías directamente relacionadas con cada una de las iniciativas priorizadas del LNADS.

Para el desarrollo de este análisis, se definieron criterios que permitieran diferenciar actorías, territorios, iniciativas y fuentes de financiamiento, y que, a su vez, facilitaran la identificación de potenciales articulaciones estratégicas:

- a) Tipo de actor: según su pertenencia al sector público-institucional, sociedad civil, sector privado, instituciones internacionales, ONG/fundaciones y ámbito académico-científico.
- b) Cobertura territorial: criterio especialmente relevante para las actorías del sector público-institucional, cuyos programas y competencias se circunscriben a límites

político-administrativos. Esta distinción permite analizar la viabilidad de acciones diferenciadas entre comunas y/o regiones.

- c) Vinculación con el LNADS: referida a la existencia de experiencias previas con el proyecto.

A partir de estos criterios, y mediante revisión bibliográfica, talleres con el equipo núcleo del LNADS, trabajo con la red de investigadores y convocatorias ampliadas, durante el año 2024 se llevó a cabo la actualización del mapa de actores del ecosistema CTCi. Este proceso permitió, además, profundizar en las distintas formas de vinculación existentes entre el LNADS y las actorías identificadas.

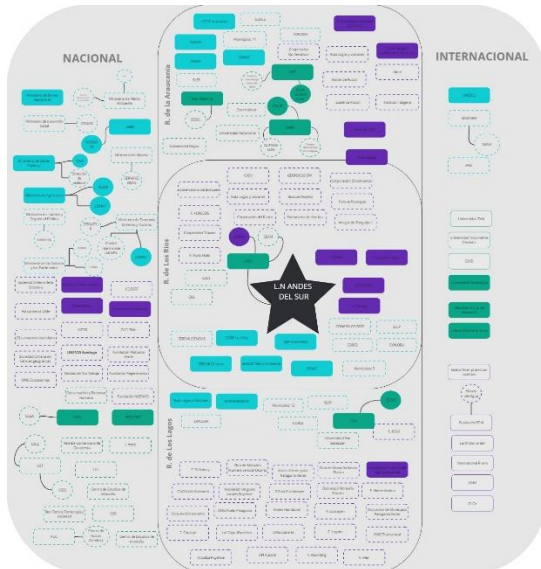


Figura n°1: Resultados primer taller interno de mapeo de actorías del ecosistema CTCi.

Finalmente, la actualización del mapa de actores incorporó un análisis del grado de importancia e influencia de cada actoría en relación con los objetivos del LNADS. En este marco, la influencia se entiende como el nivel de poder que una actoría posee para incidir en la toma de decisiones y en el desarrollo de iniciativas, lo que se expresa en el control de recursos estratégicos, su nivel de articulación, visibilidad y legitimidad pública. Por su parte, la importancia se asocia a la compatibilidad entre el quehacer de la actoría y los objetivos del LNADS, considerando tanto las temáticas que aborda como su cobertura territorial, así como la dependencia del proyecto respecto de esta y su capacidad de aportar financiamiento u otros recursos clave para el desarrollo de las acciones del laboratorio.

3. Resultados

3.1 Ecosistema CTCi del LNADS

El proceso de actualización del mapa de actores permitió ampliar y profundizar la identificación de actorías previamente consideradas, incorporando instituciones públicas sectoriales, gobiernos regionales y locales, organizaciones de la sociedad civil, actores productivos y redes internacionales de investigación. En este contexto, se distinguen los siguientes ámbitos que estructuran el ecosistema CTCi relevante para la implementación actual y futura de la hoja de ruta y del modelo de gobernanza del LNADS:

- a. Académico-científico: incluye universidades y centros de investigación, responsables de la generación de conocimiento científico, el desarrollo de hipótesis de investigación y la producción de datos y monitoreo territorial.
- b. Público-Institucional: comprende organismos públicos sectoriales, ministerios, direcciones regionales, gobiernos regionales y municipalidades. Estas actorías cumplen un rol clave en el financiamiento de la investigación, la gestión de áreas protegidas, el monitoreo de riesgos naturales y la implementación de políticas públicas en territorios de montaña.
- c. Sociedad civil y sector privado: considera organizaciones territoriales y funcionales, empresas, emprendimientos, ONG y fundaciones. Estas actorías se caracterizan por su diversidad de enfoques y trayectorias, destacando su experiencia en temáticas específicas y su potencial de articulación con el LNADS. En conjunto, participan tanto en la demanda de conocimiento como en la generación de información territorial, a través de monitoreos comunitarios, iniciativas de conservación y procesos de gestión local.
- d. Instituciones internacionales: agrupa actorías relevantes a escala global, cuya vinculación se proyecta en el marco de la estrategia de internacionalización del LNADS.

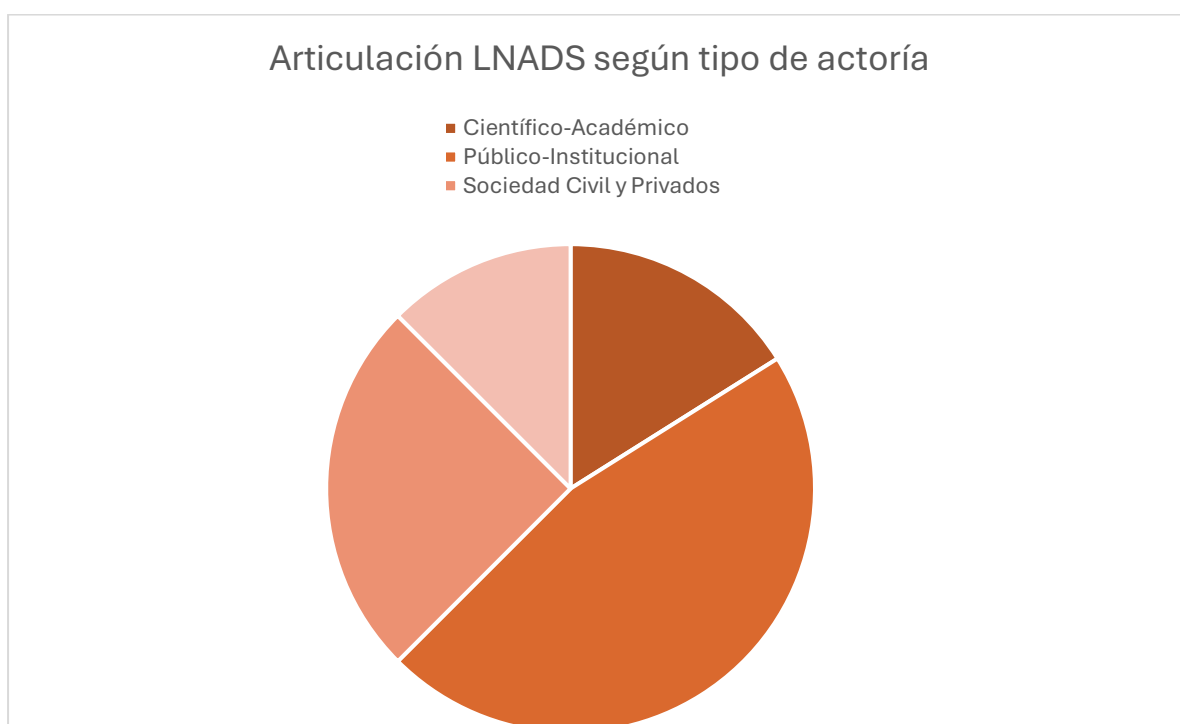


Figura n°2: Articulación del LNADS según tipo de actoría.

Del total de actorías con articulación activa que fueron identificadas durante la etapa 2, predomina el sector público-institucional. Entre los actores institucionales destacados se identificaron organismos con competencias en gestión del riesgo, monitoreo geocientífico, biodiversidad y gestión territorial, tales como servicios públicos sectoriales, agencias ambientales y organismos vinculados al desarrollo productivo. Asimismo, se incorporaron organizaciones territoriales, coaliciones socioambientales, corporaciones locales y

colectivos comunitarios vinculados a la gestión del agua, la conservación de ecosistemas y la protección de territorios de montaña.

En segundo lugar, se posicionan las actorías del ámbito académico-científico, incluyendo universidades, centros de investigación y programas de cooperación científica a escala nacional e internacional. Estas fortalecen las posibilidades de colaboración interdisciplinaria y contribuyen al posicionamiento del LNADS en redes de investigación asociadas a sistemas de montaña y riesgos geológicos.

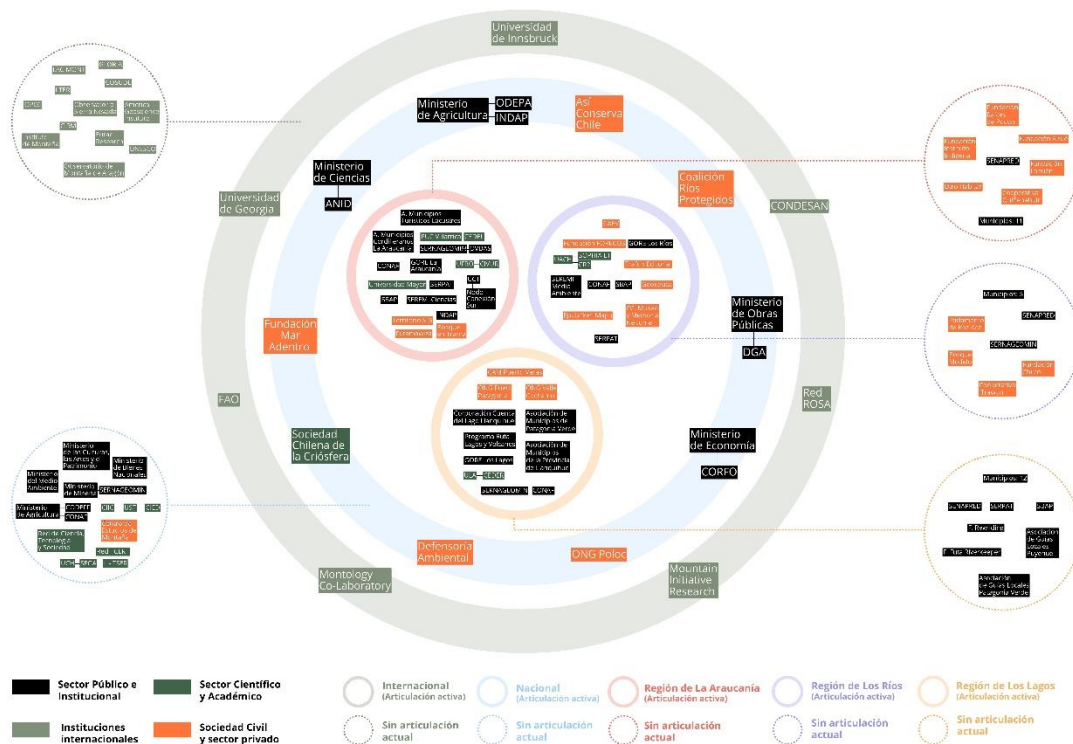


Figura n°3: Mapa de actores del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile.

El mapa de actores (figura n°3) integra tres escalas de análisis, internacional, nacional y local, abarcando las tres regiones del territorio LNADS. Las actorías representadas fuera de los anillos corresponden a aquellas con las cuales no existe vinculación activa, pero que son consideradas relevantes por su relación con temáticas de montaña. Por su parte, las actorías ubicadas dentro de los anillos representan aquellas con las que se mantiene articulación activa.

A nivel territorial, se observa una heterogeneidad en la distribución y densidad de las articulaciones. La región de La Araucanía presenta una mayor diversidad de actorías vinculadas, lo que se explica, en parte, por la preexistencia de redes de investigación consolidadas entre el LNADS, sus instituciones asociadas y proyectos vinculados. En contraste, en la región de Los Lagos predomina la articulación con el sector público-institucional, junto con ONG y fundaciones, mientras que el ámbito académico-científico presenta una menor presencia relativa. En el caso de la región de Los Ríos destaca el ámbito sociedad civil a través de organizaciones territoriales y ONGs.

De manera transversal, en el conjunto del territorio LNADS se evidencia una alta articulación con el sector público, particularmente a través de las Secretarías Regionales Ministeriales y organismos dependientes. Entre estas, destacan las SEREMI de Ciencia y Medio Ambiente por su rol en la articulación territorial y en la vinculación con políticas públicas.

A escala nacional el diagrama presenta una articulación destacada con el sector público-institucional y, en menor medida, con actores de la sociedad civil y privado. En el primer caso, destaca el rol del Ministerio de Ciencia como base del proyecto, así como su capacidad de promover la vinculación con otros organismos públicos, como CORFO y SERNATUR, con el fin de ampliar el impacto del LNADS. Asimismo, el Ministerio de Agricultura y sus organismos asociados adquieren relevancia en el marco del proceso de postulación al sistema SIPAM.

En relación con la sociedad civil y el sector privado, se identifican ONG y fundaciones con las cuales se han desarrollado iniciativas conjuntas o colaboraciones específicas en la generación de insumos para el NODO. En este contexto, destaca la Fundación Mar Adentro como actor estratégico, cuya articulación se proyecta hacia etapas futuras del proyecto. Asimismo, organizaciones como Poloc y Defensoría Ambiental han contribuido en iniciativas como la hoja de ruta y el análisis normativo.

A nivel internacional, el LNADS se vincula con universidades y redes de investigación orientadas al monitoreo en contextos de montaña. En este ámbito, destaca la articulación con organismos internacionales como FAO y UNESCO, a través de iniciativas como el Geoparque Kutralkura, el Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) Sistema ancestral de la cordillera pehuenche y las Reservas de la Biósfera Araucarias y Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes.

Finalmente, las actorías identificadas sin articulación activa representan un espacio estratégico de expansión del ecosistema, particularmente en el sector público-institucional, en función de los desafíos del componente de incidencia, así como en organizaciones de la sociedad civil y el ámbito académico-científico. Estas últimas presentan un alto potencial para fortalecer la red de investigadores y ampliar la colaboración interinstitucional, contribuyendo a la consolidación del enfoque de ciencia de montaña a escala nacional e internacional.

3.2 Actorías según su importancia e influencia en torno a los objetivos del LNADS

La amplitud del territorio LNADS y la diversidad de actorías que lo componen implican la necesidad de una articulación estratégica permanente. En este contexto, se reconoce que cada actoría posee intereses, capacidades y niveles de incidencia diferenciados dentro del ecosistema CTCi, por lo que su análisis permite delimitar con mayor claridad las oportunidades y alcances del trabajo conjunto.

A partir de este enfoque, el mapa de importancia e influencia representa la posición relativa de las actorías con las cuales el LNADS ha sostenido vinculación desde la etapa 1, considerando su capacidad de incidencia en la toma de decisiones y su relevancia para el cumplimiento de los objetivos del laboratorio.

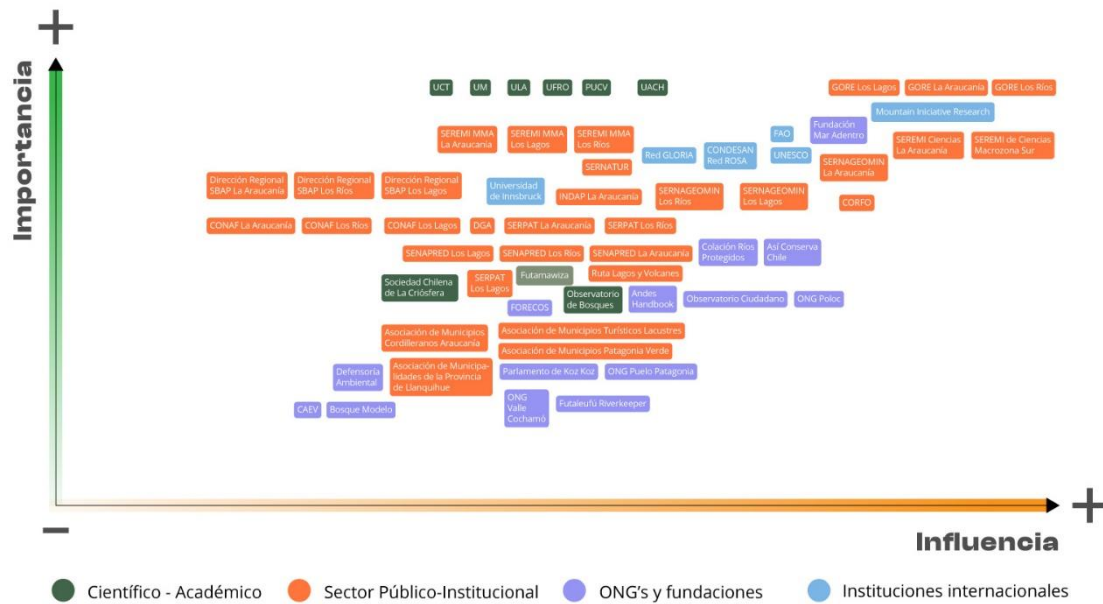


Figura nº4: Mapa de actores del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile según su influencia e importancia.

En este marco, los Gobiernos Regionales de las tres regiones del territorio LNADS se posicionan como actores clave, al constituir un nivel intermedio estratégico entre la escala nacional y local. Su alta influencia se explica por su capacidad de financiamiento y autonomía en la asignación de recursos, así como por su participación en instancias clave como los Comités Regionales de Ciencia, Tecnología e Innovación y los comités de gestión de las Reservas de la Biósfera. Estas características los convierten en actores fundamentales para la implementación de iniciativas y la incidencia en la toma de decisiones.

En una línea similar, las Secretarías Regionales Ministeriales (SEREMI) de Ciencia, particularmente en la región de La Araucanía y en la Macrozona Sur, presentan altos niveles de importancia e influencia, debido a su rol en la implementación territorial de la política científica nacional. Su capacidad de articulación facilita la vinculación entre el LNADS y otras instituciones del ecosistema CTCi. Asimismo, se reconoce la relevancia de otros organismos del Estado asociados a los desafíos temáticos del LNADS, tales como biodiversidad, riesgos y desastres, y cambio climático.

A nivel internacional, diversas instituciones adquieren relevancia por su capacidad de articulación en redes globales de monitoreo y producción de conocimiento. En este ámbito, destacan la FAO y la UNESCO, cuyo aporte se materializa en la provisión de marcos conceptuales, estándares globales y respaldo técnico que fortalecen la implementación del LNADS en ámbitos de conservación ecológica y cultural. Esto se expresa, por ejemplo, en su vinculación con iniciativas como el Programa MAB de Reservas de la Biósfera, los geoparques y los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM).

En el ámbito académico, las universidades se posicionan como actores relevantes debido a su rol en la producción de conocimiento, la captación de financiamiento y la formación

de capital humano especializado en temáticas de montaña. No obstante, su influencia relativa es menor en comparación con otras actorías, debido a que la vinculación del LNADS se ha establecido principalmente a través de investigadores individuales, más que mediante relaciones institucionales consolidadas.

Por su parte, en el sector de la sociedad civil y privados, la Fundación Mar Adentro se posiciona como un actor estratégico, dada su participación en el desarrollo del proyecto, su contribución a la hoja de ruta y su involucramiento en iniciativas como la exhibición “La montaña se abre”. Su relevancia radica tanto en la promoción de un enfoque temático en torno a las montañas como en su capacidad de financiamiento de iniciativas vinculadas a la mediación entre ciencia y arte, así como en su presencia territorial a través del proyecto de conservación Bosque Pehuén.

Adicionalmente, destacan organizaciones como la Coalición Ríos Protegidos y Así Conserva Chile, cuyo quehacer se vincula con temáticas de interés para el LNADS, tales como la conservación ecológica privada y la gestión y valorización de sistemas hídricos. En el ámbito de las organizaciones sociales, Futamawiza adquiere relevancia por su alcance territorial y su rol en el desarrollo de acciones orientadas al resguardo y la gobernanza territorial mapuche.

En su conjunto, este análisis permite identificar un núcleo de actorías estratégicas para la implementación y proyección del LNADS, así como también evidenciar la necesidad de fortalecer vínculos institucionales y diversificar las formas de articulación, en función de los distintos niveles de influencia e importancia presentes en el ecosistema.

4. Conclusiones

4.1 Síntesis de flujos estratégicos para la ciencia de montaña

A partir del análisis de actorías y sus niveles de importancia e influencia, es posible identificar una serie de flujos estratégicos que estructuran el funcionamiento del ecosistema CTCi del LNADS. Estos flujos permiten comprender las dinámicas de interacción entre actores, más allá de su caracterización individual, y orientan la proyección del laboratorio como articulador de la ciencia de montaña.

En este contexto, las actorías pueden interpretarse según su rol en el ecosistema:

- Actores que demandan conocimiento
- Actores que producen conocimiento
- Actores que financian o invierten en conocimiento
- Actores que difunden el conocimiento
- Actores que brindan soporte a la actividad científica

Sobre esta base, se identifican los siguientes flujos estratégicos:

- Producción de información y monitoreo, liderada por instituciones académicas y complementada por organizaciones territoriales.
- Colaboración y facilitación para la investigación, vinculada al acceso a territorios, logística y trabajo de campo.

- Financiamiento y provisión de recursos, canalizada principalmente a través de organismos públicos y fondos concursables.
- Comunicación y transferencia del conocimiento, que articula la relación entre ciencia, territorio y toma de decisiones.

En su conjunto, estos flujos evidencian que el desafío del LNADS no solo radica en la generación de conocimiento, sino en su capacidad de articular actores, recursos y capacidades en función de una ciencia de montaña con impacto territorial.

4.2 Síntesis estratégica y lineamientos para la articulación del LNADS

Durante el proceso de actualización del mapa de actores emergieron discusiones relevantes respecto a su alcance y representación, particularmente en torno a la incorporación de actores con intereses contrapuestos en la gestión territorial, la identificación de programas públicos que operan en el territorio y la inclusión de actores locales cuya participación resulta clave para el acceso, la investigación y la sostenibilidad de las iniciativas en territorios de montaña, tales como comunidades, guías de terreno y propietarios de predios.

En términos generales, el ecosistema CTCi del LNADS se caracteriza por una alta presencia del sector público-institucional, el cual concentra capacidades de financiamiento, incidencia y articulación territorial. Esta predominancia configura un escenario favorable para la implementación de iniciativas con impacto en política pública, pero al mismo tiempo plantea el desafío de diversificar las alianzas estratégicas, particularmente hacia el fortalecimiento del vínculo con el sector científico-académico a nivel institucional, y con actores de la sociedad civil y el sector privado.

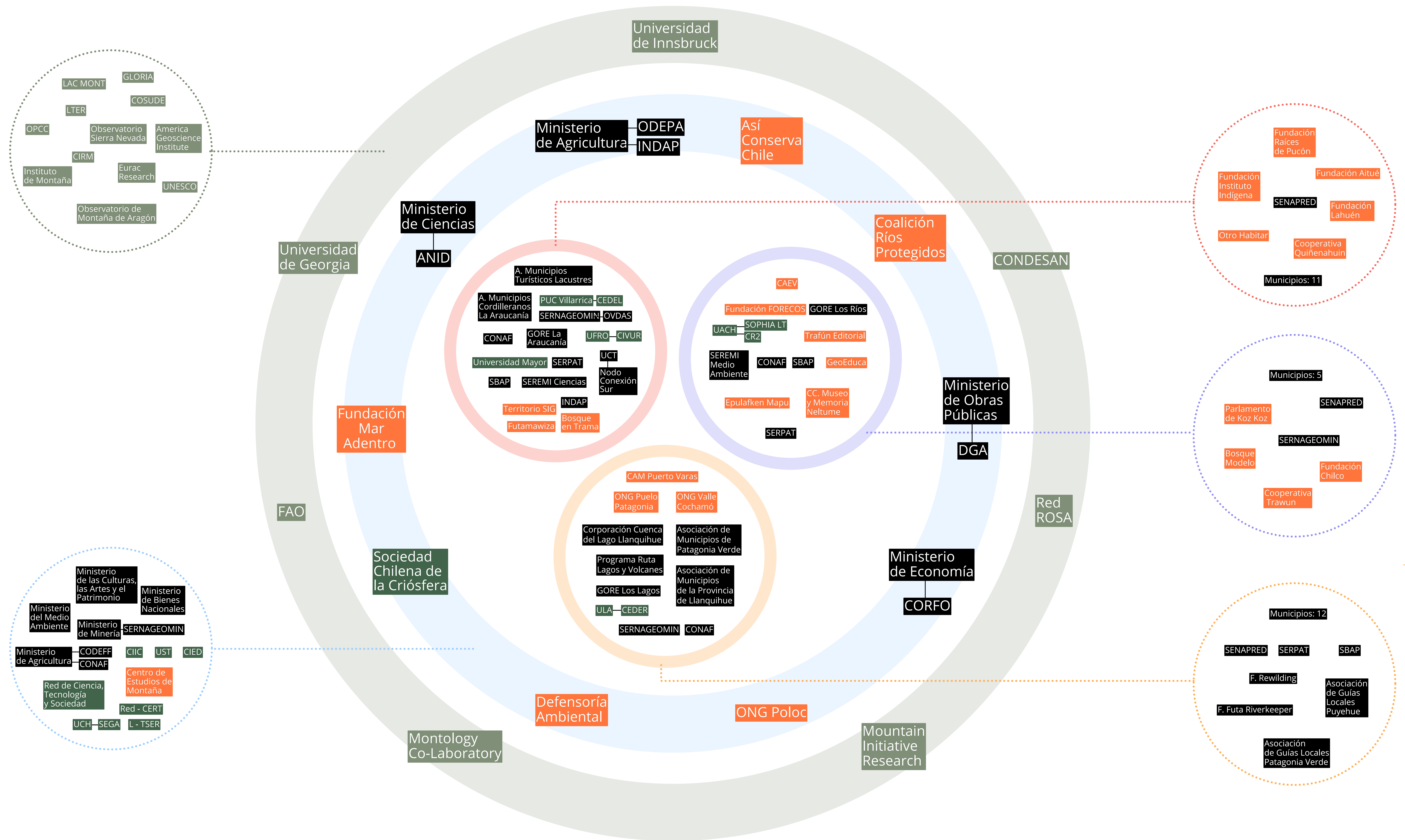
Asimismo, se observa una heterogeneidad territorial en las articulaciones, evidenciando distintos niveles de madurez del ecosistema en las regiones que conforman el LNADS. Mientras algunas regiones presentan redes científicas consolidadas, otras muestran una mayor vinculación con actores públicos o de la sociedad civil, lo que sugiere la necesidad de estrategias diferenciadas de articulación territorial, acordes a las capacidades y dinámicas locales.

Por otra parte, el análisis de importancia e influencia permite identificar un conjunto de actorías clave para la sostenibilidad del proyecto, entre las que destacan los gobiernos regionales, organismos públicos sectoriales e instituciones internacionales, cuya participación resulta fundamental tanto para la implementación de la hoja de ruta como para el posicionamiento del LNADS en escalas nacionales e internacionales. En este contexto, se releva la importancia de avanzar hacia una vinculación más institucionalizada con actores estratégicos, superando lógicas de colaboración basadas únicamente en relaciones individuales.

En relación con los flujos estratégicos identificados, el ecosistema presenta condiciones favorables para el desarrollo de la ciencia de montaña, particularmente en la producción de conocimiento y en la existencia de actores demandantes. No obstante, se identifican brechas en ámbitos como el financiamiento sostenido, la articulación logística en territorios de difícil acceso y la consolidación de mecanismos efectivos de transferencia y comunicación del conocimiento hacia la toma de decisiones.

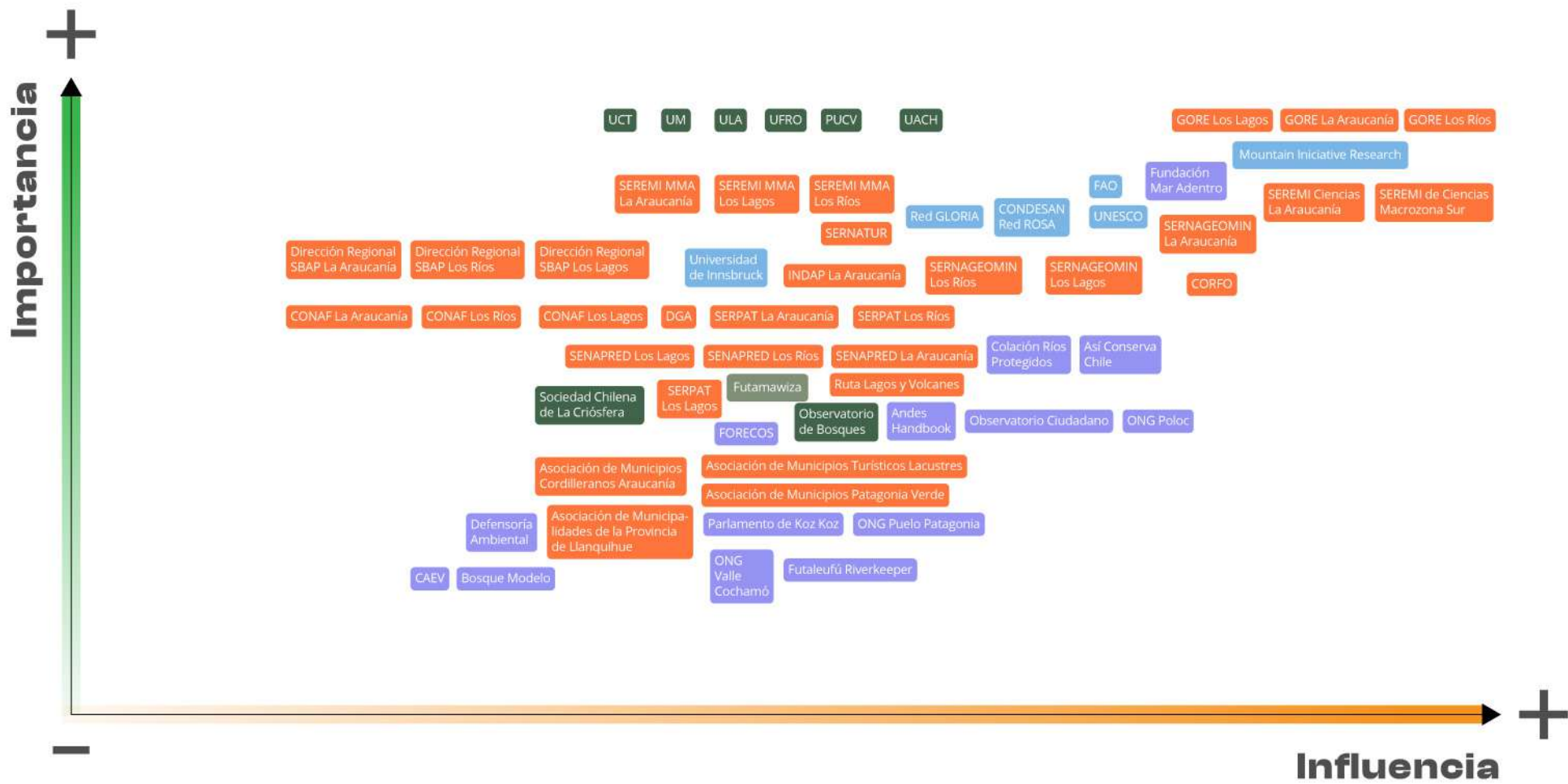
En este contexto, el mapa de actores actualizado constituye una herramienta analítica clave para orientar la gobernanza del LNADS, permitiendo no solo identificar actores relevantes, sino también comprender sus roles, interacciones y potenciales contribuciones al desarrollo del laboratorio.

Finalmente, la siguiente etapa del proceso deberá profundizar en la representación de las relaciones entre actorías, incorporando dimensiones como niveles de colaboración, conflicto, dependencia e interés, con el objetivo de fortalecer la toma de decisiones estratégicas y la definición de alianzas para la implementación efectiva de la hoja de ruta del LNADS.



Sector Público e Institucional **Sector Científico y Académico** **Internacional (Articulación activa)** **Nacional (Articulación activa)** **Región de La Araucanía (Articulación activa)** **Región de Los Ríos (Articulación activa)** **Región de Los Lagos (Articulación activa)**

Instituciones internacionales **Sociedad Civil y sector privado** **Sin articulación actual** **Sin articulación actual** **Sin articulación actual** **Sin articulación actual** **Sin articulación actual**



Anexo 1.d.

**INFORME ANÁLISIS DE BRECHAS Y OPORTUNIDADES
LABORATORIO NATURAL ANDES DEL SUR**

Índice

- 1. Introducción**
- 2. Metodología**
 - 2.1. Identificación de brechas del ecosistema CTCi**
 - 2.2. Análisis de brechas desde la perspectiva académica**
- 3. Resultados**
 - 3.1. Brechas y oportunidades del ecosistema CTCi**
 - 3.2. Brechas en el desarrollo científico desde la perspectiva académica**
- 4. Síntesis**

1. Introducción

El Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS) es un proyecto Nodo ejecutado por la Universidad Austral de Chile en alianza con la Pontificia Universidad Católica de Chile (Campus Villarrica), la Universidad de La Frontera y la Universidad de Los Lagos. Forma parte de los proyectos financiados por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) para fortalecer el desarrollo de laboratorios naturales en el país, promoviendo la generación de conocimiento científico con pertinencia territorial.

El LNADS busca articular investigación interdisciplinaria con actores públicos, privados y comunitarios del territorio cordillerano de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, con el propósito de comprender los procesos socioecológicos de los Andes del Sur y contribuir al desarrollo territorial sostenible.

El territorio del LNADS abarca comunas cordilleranas de estas tres regiones, con una superficie aproximada de 52.891 km² y una población superior a 600.000 habitantes. Se caracteriza por una alta ruralidad, una importante presencia de población indígena y una fuerte dependencia de los servicios ecosistémicos provistos por los sistemas de montaña.

Los Andes del Sur presentan características geológicas, ecológicas y socioculturales únicas a escala global, así como una alta sensibilidad frente a los efectos del cambio global. En este territorio se encuentran importantes reconocimientos internacionales, entre ellos las Reservas de Biósfera UNESCO Araucarias y Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes, el Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura y el sitio SIPAN Macrozona Cordillera Pehuenche.

En este contexto, el Laboratorio Natural Andes del Sur cumple un rol de articulación del ecosistema de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCi) vinculado a los territorios de montaña.

Como parte de este rol, el proyecto desarrolla procesos periódicos de diagnóstico orientados a identificar las capacidades científicas presentes en el territorio, las actorías que componen el ecosistema CTCi y las principales brechas y oportunidades para el desarrollo de ciencia de montaña.

El presente informe tiene como objetivo actualizar el análisis de brechas y oportunidades del LNADS, contribuyendo a fortalecer el diagnóstico del capital científico del laboratorio y a generar insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta estratégica del Laboratorio Natural.

Para cumplir este objetivo, se desarrolló un proceso de análisis que integra dos niveles complementarios. En primer lugar, se realizó un diagnóstico del ecosistema de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCi) vinculado a los territorios de montaña de los Andes del Sur. En segundo lugar, se desarrolló un análisis en profundidad desde la perspectiva de la comunidad científica asociada al Laboratorio Natural, mediante entrevistas a investigadores e investigadoras que desarrollan investigación en el territorio.

Los resultados de este proceso permiten identificar brechas estructurales del ecosistema científico, reconocer nichos emergentes de investigación y detectar oportunidades de articulación interinstitucional para fortalecer el desarrollo de ciencia de montaña en los Andes del Sur.

2. Metodología

El análisis de brechas y oportunidades del Laboratorio Natural Andes del Sur se desarrolló mediante un enfoque cualitativo y multi-fuente, combinando dos niveles de análisis complementarios:

- 2.1. Identificación de brechas del ecosistema CTCi asociado a los territorios de montaña de la macrozona sur.
- 2.2. Profundización en el ámbito científico-académico, mediante entrevistas a investigadores vinculados a los Laboratorios temáticos del LNADS.

Este enfoque permitió integrar una mirada sistemática del funcionamiento del ecosistema CTCi con un análisis más detallado de las condiciones en que se desarrolla la investigación científica en los territorios de montaña.

2.1. Identificación de brechas del ecosistema CTCi

La identificación de brechas del ecosistema CTCi se desarrolló en el marco del proceso de actualización de la Hoja de Ruta del Laboratorio Natural Andes del Sur 2026-2032, realizado con el acompañamiento metodológico de la ONG POLOC.

Este proceso consideró distintas instancias participativas orientadas a recoger percepciones y experiencias de actores del ecosistema científico y territorial, las cuales fueron:

- 3 encuentros y talleres con investigadores e investigadoras vinculados al Laboratorio Natural Andes del Sur.
- 1 reunión con centros de investigación, universidades y organizaciones del ecosistema CTCi
- 2 instancia de trabajo con el Equipo Gestor y Comité Técnico del LN Andes del Sur

Las brechas fueron registradas y organizadas en matrices de sistematización que permiten describir brechas identificadas, diagnóstico asociado, iniciativas vinculadas a su abordaje y actores responsables de su implementación.

El análisis fue estructurado en torno a los tres componentes estratégicos del Laboratorio Natural Andes del Sur: Ciencia, Incidencia y Comunicación.

Adicionalmente, este proceso permitió actualizar el mapa de actores del ecosistema CTCi vinculado a los territorios de montaña, identificando nuevas actorías provenientes de servicios públicos, gobiernos locales, organizaciones territoriales, fundaciones, ONG y actores productivos.

2.2. Análisis de brechas desde la perspectiva académica

De manera complementaria, se desarrolló un análisis de carácter cualitativo sustentado principalmente en la realización de 15 entrevista en profundidad a investigadores de los 3 laboratorios temáticos del LN Andes del Sur: 1) Evolución y herencia geológica; 2) Cambio global: interacciones bosque, suelo y recursos hídricos, y 3) Modos de vida y habitar de montaña.

Se utilizó Atlas.ti para la sistematización y análisis de contenido de las entrevistas. De esta forma, se definieron los siguientes tags para la categorización de los resultados:

- a) Brecha
- b) Oportunidades
- c) Desafíos
- d) Actorías
- e) Singularidades
- f) Amenazas
- g) Interacciones negativas entre actorías
- h) Interacciones positivas entre actorías
- i) 100 preguntas de investigación

3. Resultados:

3.1. Brechas y oportunidades del ecosistema CTCi en los Andes del Sur

El proceso de identificación de brechas permitió reconocer una serie de limitaciones estructurales del ecosistema CTCi vinculado a los territorios de montaña de los Andes del Sur. Estas brechas fueron identificadas en el marco del proceso participativo de actualización de la Hoja de Ruta del Laboratorio Natural Andes del Sur 2026–2032, y permiten comprender los principales desafíos que enfrenta el desarrollo de montaña en el territorio a partir de los componentes de Ciencia, Incidencia y Comunicación.

a. Componente Ciencia

i. Brechas:

En la dimensión científica se identifican diversas brechas que limitan el desarrollo de investigación integrada sobre los sistemas de montaña de los Andes del Sur. Una de las principales se relaciona con la dispersión de las agendas de investigación, que tienden a organizarse en torno a proyectos individuales o disciplinas específicas, con escasa articulación entre áreas de conocimiento. Esta situación dificulta el desarrollo de enfoques interdisciplinarios capaces de abordar la complejidad socioecológica de los territorios de montaña.

A esta situación se suma una limitada orientación territorial de parte de la producción científica, lo que en algunos casos se traduce en investigaciones que no necesariamente dialogan con las problemáticas y desafíos específicos de los territorios donde se desarrollan. Asimismo, se identifican brechas en la integración de distintos tipos de conocimiento, particularmente en relación con saberes locales, comunitarios e indígenas, cuya incorporación en los procesos de investigación aún presenta limitaciones institucionales y metodológicas.

ii. Oportunidades:

A pesar de estas brechas, el territorio de los Andes del Sur presenta condiciones favorables para el fortalecimiento de la investigación científica en sistemas de montaña. Entre estas oportunidades destaca la existencia de una masa crítica de investigadores e investigadoras que desarrollan investigación en el territorio, así como la presencia de universidades regionales y centros de investigación con experiencia en el estudio de ecosistemas andinos.

Asimismo, la diversidad biogeográfica y socioecológica del territorio ofrece un escenario particularmente relevante para el desarrollo de investigación interdisciplinaria y de largo

plazo, especialmente en temas como cambio climático, biodiversidad, dinámica de ecosistemas de montaña y relaciones sociedad-naturaleza.

iii. Desafío:

En este contexto, uno de los principales desafíos consiste en avanzar hacia una mayor articulación entre grupos de investigación, disciplinas e instituciones que desarrollan investigación en los Andes del Sur. Esto implica fortalecer espacios de colaboración científica, promover enfoques interdisciplinarios y generar condiciones institucionales que permitan el desarrollo de agendas de investigación de largo plazo orientadas a los sistemas de montaña.

Asimismo, se plantea el desafío de fortalecer la integración de distintos sistemas de conocimiento en los procesos de investigación, incorporando de manera más sistemática saberes locales, conocimientos tradicionales y perspectivas territoriales en la producción científica.

iv. Actorías:

En esta dimensión participan diversas actorías del ecosistema CTCi, entre las que se encuentran universidades regionales y nacionales, centros de investigación, investigadores independientes, estudiantes de postgrado y equipos técnicos asociados a proyectos científicos. Estas actorías constituyen la base del sistema de producción de conocimiento sobre los territorios de montaña y cumplen un rol clave en la generación de evidencia científica relevante para la comprensión de los sistemas socioecológicos de los Andes del Sur.

v. Interacciones entre actorías:

Las interacciones entre estas actorías se desarrollan principalmente a través de proyectos de investigación, redes académicas, colaboraciones interinstitucionales y espacios de formación de capital humano avanzado. Sin embargo, el análisis del ecosistema CTCi sugiere que estas interacciones aún presentan un grado limitado de articulación sistemática, lo que abre oportunidades para fortalecer plataformas de colaboración científica orientadas específicamente al estudio de los territorios de montaña.

b. Componente Incidencia

i. Brechas:

En la dimensión de incidencia se identifican brechas asociadas a la limitada incorporación de conocimiento científico en los procesos de toma de decisiones vinculados a los territorios de montaña. A pesar de la creciente producción científica sobre estos territorios, su influencia en el diseño de políticas públicas, instrumentos de planificación territorial y procesos de gobernanza ambiental aún resulta limitada.

Esta situación se relaciona, en parte, con la ausencia de marcos institucionales específicos para la gestión de territorios de montaña, así como con la falta de mecanismos sistemáticos que faciliten el diálogo entre la comunidad científica, las instituciones públicas y otros actores del territorio.

ii. Oportunidades:

A pesar de estas limitaciones, se identifican oportunidades para fortalecer la incidencia del conocimiento científico en la toma de decisiones. Entre ellas destaca el creciente interés institucional por abordar problemáticas asociadas al cambio climático, la gestión de recursos naturales y la conservación de ecosistemas de montaña, ámbitos en los que la evidencia científica puede aportar insumos relevantes para la formulación de políticas públicas.

iii. Desafíos:

En este contexto, uno de los principales desafíos consiste en generar mecanismos más efectivos de articulación entre ciencia y política pública, promoviendo instancias de diálogo, transferencia de conocimiento y colaboración entre investigadores, instituciones públicas y actores territoriales. Esto implica avanzar hacia modelos de producción de conocimiento más abiertos, participativos y orientados a las necesidades del territorio.

iv. Actorías

Participan diversas actorías vinculadas tanto al sistema de ciencia como a la gestión pública y territorial de los Andes del Sur. Entre ellas destacan las instituciones públicas sectoriales, responsables del diseño e implementación de políticas y programas relacionados con la gestión de recursos naturales, la planificación territorial y el desarrollo regional.

Asimismo, los gobiernos regionales y los municipios cumplen un rol clave en la articulación de políticas públicas a escala territorial, particularmente en la planificación del desarrollo regional, la gestión de instrumentos de ordenamiento territorial y la coordinación con actores locales. Estas instituciones constituyen espacios relevantes para la incorporación de evidencia científica en procesos de toma de decisiones vinculados a los territorios de montaña.

A su vez, los investigadores, universidades y centros de investigación representan la principal base de generación de conocimiento científico sobre los sistemas de montaña, aportando evidencia relevante para comprender dinámicas ambientales, sociales y territoriales de los Andes del Sur.

Finalmente, las organizaciones territoriales, incluyendo comunidades locales, asociaciones productivas y organizaciones sociales, constituyen actorías fundamentales en la gestión cotidiana de los territorios de montaña. Estas organizaciones poseen conocimientos situados sobre el territorio y participan activamente en procesos de gobernanza local, por lo que su vinculación con la producción científica resulta clave para fortalecer procesos de toma de decisiones informadas y territorialmente pertinentes.

v. Interacciones entre actorías:

Las interacciones entre las distintas actorías vinculadas al ecosistema de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCi) en los territorios de montaña de los Andes del Sur presentan dinámicas diversas, que combinan tanto espacios de colaboración como desafíos en la articulación entre sectores.

Por una parte, se identifican brechas asociadas a las diferencias de lenguaje, tiempos institucionales y lógicas de trabajo entre el mundo científico, las instituciones públicas y los actores territoriales. Mientras la investigación científica suele desarrollarse en el marco de proyectos con horizontes temporales acotados y objetivos académicos específicos, los procesos de gestión pública y planificación territorial responden a dinámicas institucionales distintas, condicionadas por marcos normativos, ciclos administrativos y prioridades políticas. Estas diferencias pueden dificultar la incorporación oportuna de resultados de investigación en procesos de toma de decisiones o en instrumentos de planificación territorial.

Al mismo tiempo, el análisis identifica experiencias de colaboración que evidencian el potencial de articulación entre la comunidad científica, las instituciones públicas y organizaciones territoriales. En particular, se destacan instancias de encuentro y diálogo promovidas por el Laboratorio Natural Andes del Sur, que han contribuido a generar espacios de intercambio entre investigadores, actores públicos y organizaciones del territorio. Asimismo, se registran experiencias de colaboración en el marco de proyectos específicos, donde investigadores e instituciones públicas han trabajado de manera conjunta en temas vinculados a la gestión de recursos naturales, la conservación de ecosistemas de montaña y el análisis de dinámicas socioambientales del territorio.

En este contexto, fortalecer los espacios de articulación entre estas actorías aparece como una condición relevante para mejorar la incidencia del conocimiento científico en los procesos de gestión territorial y para avanzar hacia formas de gobernanza más integradas en los territorios de montaña.

c) Componente Comunicación

i. Brechas:

En la dimensión comunicacional se identifican brechas asociadas a la limitada circulación del conocimiento científico hacia actores no académicos vinculados a los territorios de montaña. En muchos casos, los resultados de la investigación permanecen circunscritos a publicaciones especializadas o espacios académicos, lo que restringe su acceso por parte de comunidades locales, organizaciones territoriales, instituciones públicas y otros actores que participan en la gestión del territorio.

A esta situación se suma la ausencia de mecanismos sistemáticos que faciliten la traducción del conocimiento científico hacia formatos comprensibles y útiles para distintos públicos. La escasa disponibilidad de plataformas de difusión integradas, así como la limitada institucionalización de estrategias de comunicación científica, dificulta la circulación efectiva de información relevante sobre los sistemas socioecológicos de los Andes del Sur.

ii. Oportunidades:

A pesar de estas brechas, se identifican oportunidades relevantes para fortalecer la comunicación pública del conocimiento científico en los territorios de montaña. El creciente interés por temas como cambio climático, conservación de ecosistemas y gestión sostenible de recursos naturales ha ampliado la demanda social por información científica accesible y territorialmente pertinente.

En este contexto, el desarrollo de plataformas digitales, sistemas de información territorial y estrategias de divulgación científica ofrece oportunidades para mejorar el acceso a información científica y fortalecer el diálogo entre investigadores, instituciones públicas y comunidades locales. Estas herramientas pueden contribuir a ampliar la circulación del conocimiento y a promover una mayor apropiación social de la ciencia en el territorio.

iii. Desafíos:

En este escenario, uno de los principales desafíos consiste en avanzar hacia estrategias de comunicación científica más inclusivas, sistemáticas y territorialmente pertinentes. Esto implica fortalecer las capacidades de comunicación dentro de la comunidad científica, promover la generación de formatos de divulgación accesibles para distintos públicos y desarrollar plataformas que permitan integrar información científica relevante para los territorios de montaña.

Asimismo, se plantea el desafío de generar espacios permanentes de diálogo entre ciencia y sociedad, que faciliten el intercambio de conocimientos entre investigadores, instituciones públicas y actores territoriales, contribuyendo a fortalecer la relación entre producción científica y procesos de desarrollo territorial.

iv. Actorías:

En la dimensión comunicacional participan diversas actorías del ecosistema CTCi y del territorio. Entre ellas se encuentran investigadores, universidades y centros de investigación, que generan conocimiento científico sobre los sistemas de montaña y cumplen un rol central en la producción de contenidos científicos.

Asimismo, participan equipos de comunicación institucional, plataformas de divulgación científica y medios de comunicación que contribuyen a la difusión de información científica hacia públicos más amplios. A estas actorías se suman instituciones públicas, organizaciones territoriales y comunidades locales, que actúan tanto como destinatarias del conocimiento científico como participantes en procesos de intercambio y circulación de información sobre el territorio.

v. Interacciones entre actorías:

Las interacciones entre estas actorías se desarrollan a través de diversos espacios de difusión, intercambio y comunicación del conocimiento científico. Entre ellos se encuentran actividades de divulgación, seminarios, talleres territoriales, plataformas digitales de información y proyectos colaborativos que buscan acercar la ciencia a distintos actores del territorio.

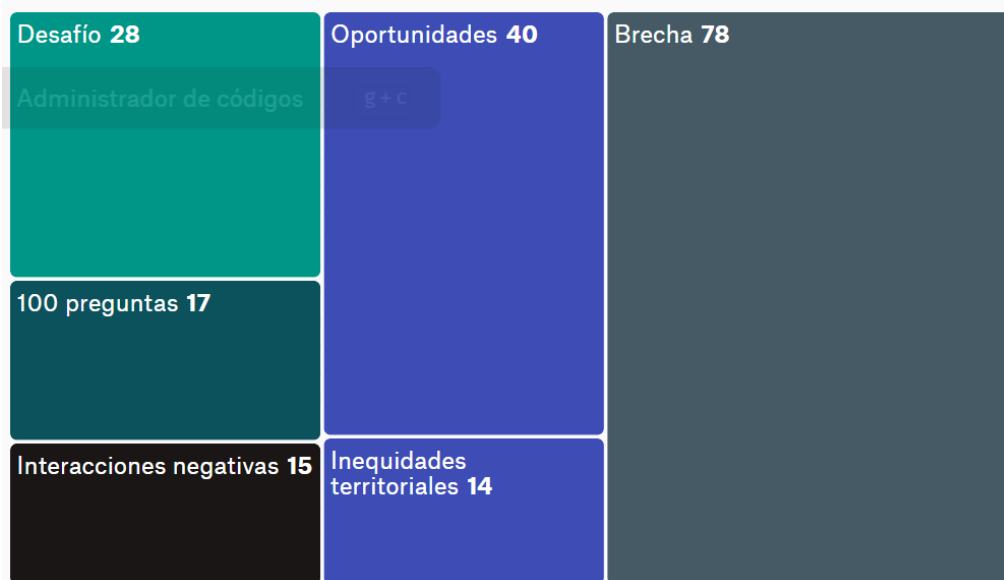
Sin embargo, el análisis del ecosistema CTCi sugiere que estas interacciones aún presentan un grado limitado de sistematicidad e integración. En muchos casos, las iniciativas de comunicación científica se desarrollan de manera discontinua o asociadas a proyectos específicos, lo que dificulta la consolidación de estrategias de comunicación de largo plazo., lo que dificulta la consolidación de estrategias de comunicación de largo plazo.

En este contexto, fortalecer plataformas de comunicación científica territorialmente orientadas aparece como una oportunidad clave para mejorar la circulación del conocimiento científico y fortalecer el vínculo entre investigación, instituciones públicas y actores sociales en los territorios de montaña de los Andes del Sur.

Mientras el análisis anterior permite identificar brechas estructurales del ecosistema CTCi desde una perspectiva institucional y territorial, el análisis que se presenta a continuación profundiza estas dinámicas desde la experiencia de la comunidad científica que desarrolla investigación en los Andes del Sur. A partir de entrevistas en profundidad a investigadores e investigadoras vinculados al Laboratorio Natural, se identifican percepciones sobre las condiciones de desarrollo de la investigación científica, así como brechas, oportunidades y desafíos emergentes en el territorio.

3.2. Resultados de brechas desde la perspectiva académica.

Con base a los tags definidos para el análisis de contenidos, se identificó un total de 237 citas potenciales para comprender las interacciones, brechas y oportunidades percibidas por investigadores en el desarrollo científico.



3.2.1. Brechas en el desarrollo científico

En las entrevistas realizadas se identificaron 81 enunciados correspondientes a brechas en el desarrollo científico. Producto de la amplitud de las respuestas, emergieron 10 nuevas categorías de análisis:

- Áreas de investigación poco exploradas
- Investigación condicionada a proyectos
- Movilización del conocimiento con bajo impacto
- Inequidades territoriales
- Fragmentación del ecosistema CTCi
- Dificultad de acceso a territorios de montaña
- Dificultades en integración de enfoque interdisciplinario
- Carencia de infraestructura y equipamiento adecuado para investigar las montañas
- Limitantes para el acceso a datos e información base
- Desigualdades de género



Figura nº1: Gráfico de brechas según nº de menciones.

De esta forma, las brechas con mayor número de menciones en las entrevistas se relacionan con “Áreas de investigación poco exploradas” y “Fragmentación del ecosistema CTCi”. La primera categoría señalada permite comprender las limitaciones que las y los investigadores enfrentan en el acceso a financiamiento y el tiempo determinado para estas, como las barreras del desarrollo incipiente de disciplinas y líneas de investigación. En cuanto a la “Fragmentación del ecosistema CTCi”, esta categoría da cuenta de la desarticulación entre las diversas actorías presentes en el territorio, en la diferencia existente en la priorización de recursos y financiamiento, como también las desconfianzas y problemáticas que aquejan a las comunidades locales.

Como tercer lugar se posiciona “Movilización del conocimiento con bajo impacto” que expone la dificultad del desarrollo científico en conectar con las problemáticas y necesidades percibidas por los territorios de montaña. De igual forma, “Investigación condicionada a proyecto” da cuenta de las dificultades de consolidar proyectos de investigación en territorios por problemáticas relacionadas a la falta de financiamiento y la concursabilidad de este.

A continuación, se desarrollan la totalidad de brechas identificadas desde la comunidad científica:

a) Áreas de investigación poco exploradas

Esta brecha expone la existencia de vacíos de información base y diagnósticos para el desarrollo y profundización de investigaciones en el LN Andes del Sur. A nivel territorial, Se relaciona con la poca disponibilidad de capital humano especializado en estas áreas, debido a que corresponden a comunidades científicas pequeñas que aún desarrollan investigaciones de tipo exploratorias. Lo anterior se posiciona como una limitante al momento de integrar líneas de investigación como arqueología, patrimonio geológico y micología, en atención a los desafíos de inter y transdisciplina para fortalecer la movilización del conocimiento con impacto en el ecosistema CTCi.

"Digamos del patrimonio geológico, yo creo que... siento que un poco se replica a lo que pasa a nivel nacional ¿qué es lo que falta en las montañas de los andes en el laboratorio natural andes del sur? por ejemplo terminar ese proceso de inventario, de identificación catastro de sitio."

Manuel Schilling. Laboratorio temático 1 "Evolución y herencia geológica"

"Por ejemplo, el ecosistema boscoso, hay un dicho que es muy cierto que dice que a veces los árboles no dejan ver el bosque"

Leonardo Almonacid. Laboratorio temático 2: Cambio global: interacción bosque, suelo y recursos hídricos.

b) Investigación condicionada a proyectos

El desarrollo de investigaciones científicas depende del limitado acceso a financiamiento entregado por ANID mediante fondos concursables, donde destaca el rol de los proyectos FONDECYT. Las brechas percibidas por investigadores/as se relaciona con las bases y el proceso de postulación, dado a que potencian una atmosfera de alta competitividad en la comunidad científica. La predominancia de temáticas y enfoques en las bases concursables cambian según los periodos, implicando y perjudicando en ocasiones la continuidad de investigaciones y la obtención de fondos para líneas de investigación emergentes. Ejemplo de lo anterior, es el énfasis en el cambio climático y la puesta en práctica de la inter y transdisciplina.

En un sentido similar, la comunidad científica entrevistada da cuenta de la necesidad de diferenciar la entrega de financiamiento según los territorios en los cuales se despliegan las investigaciones enfatizando que los costos de hacer ciencia en las montañas son mayores a los que podrían asociarse a contextos urbanos.

La temporalidad de la entrega de financiamiento genera dependencia y pone en riesgo la continuidad y/o profundización de investigaciones. Además, condiciona la permanencia de los proyectos en los territorios disminuyendo las posibilidades de vinculación con las comunidades locales y sus necesidades.

Como último punto, se menciona la existencia de espacios distintos a las Universidades en los que se desarrolla investigación, como también de otros formatos de producción científica que no son valorados al momento de postular a financiamiento.

"El cambio climático está de moda, entonces la forma de ganarse los proyectos en este minuto es metiéndole cambio climático y escasez hídrica, disfrazar la investigación ahí."

Ana Abarzúa, Laboratorio temático 2 "Cambio global interacción bosque, suelo y recursos hídricos"

"Porque hay otra tendencia que igual yo veo que hoy día la ciencia está siendo muy aplicada, se pide mucha ciencia aplicada, casi al punto de que ojalá tú generes un producto y que ojalá si puedes ese producto meterlo en una caja y venderlo mejor ¿ya?"

Leonardo Almonacid, Laboratorio temático 2: Cambio global: interacción bosque, suelo y recursos hídricos

c) Movilización del conocimiento con bajo impacto

Esta brecha refleja la percepción de investigadores e investigadoras respecto a las dificultades que enfrenta el conocimiento científico para incidir de manera efectiva en los territorios de montaña. Diversas entrevistas evidencian que los proyectos de investigación, muchas veces estructurados en torno a objetivos definidos por los instrumentos de financiamiento, presentan limitaciones para vincularse de forma sostenida con las problemáticas y necesidades de los territorios.

En este contexto, se identifican tensiones entre los tiempos y lógicas de la investigación científica y las dinámicas sociales y territoriales. Estas tensiones se expresan, por ejemplo, en la dificultad para incorporar conocimientos locales en los procesos de investigación, en la escasa continuidad de los proyectos en el territorio y en la limitada traducción de los resultados científicos hacia formatos comprensibles y útiles para actores locales.

Asimismo, algunos investigadores mencionan la persistencia de desconfianzas desde comunidades locales hacia instituciones académicas, asociadas a experiencias previas de extracción de conocimiento sin retorno directo para los territorios. Esta situación ha sido descrita por algunos entrevistados como una forma de “extractivismo epistemológico”, que tensiona la relación entre ciencia y territorio.

En este contexto, se reconoce la necesidad de fortalecer enfoques de investigación más transdisciplinarios, que integren conocimientos científicos, saberes locales e intereses territoriales, contribuyendo a una movilización del conocimiento más pertinente y con mayor impacto en los Andes del Sur.

“Entonces cuando uno trabaja los temas de educación lo que más yo he visto es que no hay pertinencia ni contexto con la realidad del territorio.”

Fernando Peña, Laboratorio temático 3: Modos de vida y habitar de montaña

d) Inequidades territoriales

La categoría “inequidades territoriales” da cuenta de las asimetrías estructurales que caracterizan a los territorios de montaña en Chile. Diversos investigadores señalan que las comunas cordilleranas enfrentan condiciones de aislamiento geográfico, menor densidad poblacional y menor disponibilidad de infraestructura pública, lo que limita tanto el desarrollo territorial como las condiciones para la investigación científica.

Estas inequidades se relacionan con procesos más amplios de centralización política y administrativa, que se expresan tanto a escala nacional como regional. En este contexto, se identifican brechas en la gobernanza territorial, particularmente en la ausencia de mecanismos institucionales que reconozcan las especificidades de los territorios de

montaña, tales como su carácter fronterizo, su baja densidad poblacional o sus condiciones de conectividad.

"Niveles de gobernanza no están sincronizados, no existen mecanismos de equidad en la gobernanza, no existen mecanismos concretos que digan que un territorio por el hecho de ser fronterizo, por tener poca población, por ser aislado, esos elementos en la gobernanza todavía no se recogen"

Fernando Peña, Laboratorio temático 3 "Modos de vida y habitar de montaña"

e) Fragmentación del ecosistema CTCi

Esta brecha se manifiesta tanto en la organización institucional de la investigación como en las dinámicas de colaboración entre grupos científicos, lo que limita el desarrollo de agendas de investigación integradas sobre los territorios de montaña.

Diversos investigadores señalan que el sistema científico chileno tiende a organizarse en torno a proyectos individuales o a equipos de investigación relativamente cerrados, con escasas instancias de articulación entre disciplinas, instituciones y territorios. Esta lógica se ve reforzada por los instrumentos de financiamiento existentes, que suelen privilegiar la competencia entre grupos de investigación más que la construcción de programas colaborativos de largo plazo.

En el contexto específico de los Andes del Sur, esta fragmentación se expresa también en la coexistencia de múltiples iniciativas de investigación que operan de manera paralela en el territorio, muchas veces sin mecanismos sistemáticos de coordinación o intercambio de información. Como resultado, se producen duplicaciones de esfuerzos, vacíos de conocimiento en áreas clave y una limitada capacidad para construir visiones integradas sobre los sistemas socioecológicos de montaña.

Frente a este escenario, los investigadores identifican como oportunidad el fortalecimiento de espacios de articulación científica, plataformas de colaboración interinstitucional y redes de investigación que permitan avanzar hacia enfoques más integrados para el estudio de los territorios de montaña.

"A falta de diálogo entre el MOP, la DGA y el SERNAGEOMIN, que ha resultado muy difícil hacer trabajos y proyectos en conjunto."

Paola Ramírez Laboratorio temático 1, Evolución y herencia geológica.

"Siempre hay burocracia asociada porque las decisiones muchas veces son decisiones políticas de dónde implementar esto para tener mayor prensa, mayor pantalla"

Pablo Valdenegro. Laboratorio Temático 1, Evolución y herencia geológica

f) Dificultad de acceso a territorios de montaña

La dificultad de acceso a los territorios de montaña constituye otra de las limitantes relevantes para el desarrollo de investigación científica en los Andes del Sur. Investigadores de distintas disciplinas señalan que las condiciones geográficas, climáticas y logísticas propias de estos territorios generan desafíos significativos para el desarrollo

de trabajo de campo, particularmente en zonas de alta cordillera o en áreas de difícil conectividad.

Estas dificultades se relacionan con múltiples factores, entre ellos la limitada infraestructura de acceso, las condiciones climáticas extremas en determinadas épocas del año, la complejidad de los desplazamientos en terrenos de alta montaña y la necesidad de contar con equipamiento especializado para el desarrollo de actividades de investigación.

Asimismo, algunos investigadores mencionan la existencia de restricciones administrativas o institucionales para acceder a determinados territorios, tales como áreas protegidas, territorios indígenas o zonas fronterizas, lo que puede requerir procesos de autorización prolongados y una coordinación institucional compleja.

En este contexto, la investigación científica en territorios de montaña requiere frecuentemente mayores tiempos de planificación, mayores costos operacionales y una logística más compleja que la investigación desarrollada en otros contextos territoriales. Estas condiciones representan una barrera adicional para el desarrollo de proyectos científicos, especialmente en el marco de instrumentos de financiamiento que no siempre consideran estas particularidades.

"La accesibilidad a los sitios de estudio, porque los territorios de montaña son de difícil acceso, entonces son difíciles de llegar, de investigar, de conocer. Sobre todo, en los Andes del sur porque las rocas están todas cubiertas por vegetación"

Ana Abarzúa, laboratorio temático 2 "Cambio global: interacción bosque, suelos y recursos hídricos"

g) Dificultades en integración de enfoque interdisciplinario

La integración de enfoques interdisciplinarios aparece también como un desafío significativo para el desarrollo de investigación científica en los Andes del Sur. Si bien diversos investigadores reconocen la importancia de abordar los sistemas socioecológicos de montaña desde perspectivas integradas, en la práctica persisten dificultades para articular de manera efectiva distintas disciplinas dentro de los procesos de investigación.

Estas dificultades se relacionan, en parte, con las estructuras tradicionales de organización del conocimiento en el sistema científico, donde las disciplinas mantienen marcos conceptuales, metodológicos y lenguajes propios que no siempre son fácilmente articulables entre sí. A esto se suma que los instrumentos de evaluación académica continúan privilegiando trayectorias disciplinarias, lo que puede desincentivar el desarrollo de investigaciones interdisciplinarias de largo plazo.

Algunos investigadores señalan además que los procesos de colaboración interdisciplinaria requieren tiempos de construcción colectiva más extensos, así como espacios institucionales que faciliten el diálogo entre disciplinas y la construcción de marcos analíticos compartidos. En ausencia de estas condiciones, los esfuerzos interdisciplinarios tienden a quedar restringidos a colaboraciones puntuales o a integraciones parciales dentro de los proyectos de investigación.

En el contexto de los territorios de montaña, donde los fenómenos socioambientales presentan una alta complejidad, fortalecer enfoques interdisciplinarios aparece como una condición clave para avanzar hacia comprensiones más integrales de los sistemas naturales y sociales que caracterizan a los Andes del Sur.

"Yo diría que otra de las brechas es la escasa interdisciplina, arqueología es como de repente "ah chuta está arqueología" entonces existe poco ejercicio interdisciplinario y eso es una debilidad."

Leonor Adán, laboratorio temático 3 Modos de vida y habitar de montaña.

h) Carencia de infraestructura y equipamiento adecuado para investigar las montañas

La carencia de infraestructura científica y equipamiento especializado constituye otra de las brechas identificadas por los investigadores que desarrollan investigación en territorios de montaña. Diversas entrevistas señalan que el desarrollo de estudios en ambientes de alta montaña requiere condiciones logísticas y tecnológicas específicas, que no siempre se encuentran disponibles en las instituciones de investigación.

Entre las principales limitaciones mencionadas se encuentran la falta de estaciones científicas permanentes en zonas cordilleranas, la limitada disponibilidad de laboratorios de apoyo cercanos a los sitios de estudio, así como la escasez de equipamiento especializado para el monitoreo de variables ambientales en condiciones de alta montaña.

Estas limitaciones pueden dificultar la realización de estudios de largo plazo, particularmente aquellos asociados al monitoreo de procesos ecológicos, climáticos o hidrológicos, que requieren observaciones sistemáticas en el tiempo. Asimismo, la falta de infraestructura adecuada puede incrementar los costos operacionales de los proyectos de investigación y limitar las oportunidades de formación de estudiantes en terreno.

En este contexto, el fortalecimiento de infraestructura científica orientada específicamente al estudio de los sistemas de montaña aparece como una oportunidad estratégica para potenciar el desarrollo de investigación en los Andes del Sur.

"Va desde cosas relativamente simples, por ejemplo, laboratorios de sedimentología que pueden usarse para el estudio de las tefras (material piroclástico), hasta cosas más complejas que tienen que ver con petrología y capacidad analítica un poquito más sofisticadas, pero que existen en otras partes del país y no están tan disponibles en la zona sur"

i) Limitantes para el acceso a datos e información base

El acceso a datos e información base constituye también una limitante relevante para el desarrollo de investigación científica en los Andes del Sur. Diversos investigadores señalan que, si bien existe una creciente producción de información científica sobre los territorios de montaña, esta información se encuentra muchas veces dispersa entre distintas

instituciones, proyectos de investigación o repositorios de datos, lo que dificulta su acceso y utilización.

En algunos casos, los datos generados por proyectos científicos no se encuentran disponibles públicamente o carecen de mecanismos de sistematización que faciliten su reutilización por parte de otros investigadores. Esta situación puede limitar la continuidad de los estudios, generar duplicación de esfuerzos en la recolección de información y dificultar la construcción de series de datos de largo plazo.

Asimismo, se identifican brechas en la disponibilidad de información base a escalas territoriales apropiadas para el estudio de los sistemas de montaña, particularmente en relación con variables ambientales, climáticas y socioecológicas. La ausencia de plataformas integradas de información territorial representa, en este sentido, un desafío para el desarrollo de análisis interdisciplinarios y para la toma de decisiones basadas en evidencia científica.

En este contexto, diversos investigadores destacan la importancia de avanzar hacia sistemas de información abiertos, interoperables y territorialmente integrados, que permitan mejorar el acceso a datos científicos y fortalecer la colaboración entre instituciones y disciplinas.

Quizás ni siquiera la estación está mala, sino que se generan los datos, pero los datos los tiene alguien en su computador en Santiago y no los libera, no están online"

Marius Schaefer, laboratorio temático 2 "Cambio global, interacción bosque, suelo y recursos hídricos"

4. Síntesis

A partir del análisis del ecosistema de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCi) y de las entrevistas realizadas a investigadores vinculados al Laboratorio Natural Andes del Sur, es posible sintetizar un conjunto de brechas estructurales y oportunidades estratégicas para el desarrollo de la ciencia de montaña en el territorio. La siguiente tabla integra los principales resultados de ambos ejercicios analíticos, permitiendo visualizar de manera sintética los desafíos y potencialidades que configuran el contexto de desarrollo del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Tabla 1: Síntesis de brechas y oportunidades del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Dimensión	Brechas identificadas	Oportunidades identificadas
Producción científica	Fragmentación del ecosistema CTCi y agendas de investigación poco articuladas. Dificultades para integrar enfoques interdisciplinarios	Existencia de masa crítica de investigadores y centros de investigación en el territorio. Alto potencial del territorio

	y distintos sistemas de conocimiento.	andino para el desarrollo de investigación interdisciplinaria de largo plazo.
Condiciones para la investigación en montaña	Dificultades de acceso a territorios de montaña, limitaciones logísticas para el trabajo de campo y carencia de infraestructura científica especializada.	Posibilidad de fortalecer redes de investigación y plataformas científicas territoriales orientadas al estudio de sistemas de montaña.
Datos e información científica	Acceso limitado a datos e información base, dispersión de información entre instituciones y ausencia de plataformas integradas de datos territoriales.	Desarrollo de sistemas de información territorial y plataformas de datos abiertos que faciliten la colaboración científica y la toma de decisiones basada en evidencia.
Relación ciencia-política pública	Brechas de lenguaje, tiempos y marcos institucionales entre investigación científica y procesos de planificación o gestión pública. Dificultades para incorporar evidencia científica en instrumentos de planificación territorial.	Creciente interés institucional por integrar conocimiento científico en la gestión de recursos naturales, adaptación al cambio climático y planificación territorial.
Gobernanza territorial	Inequidades territoriales en zonas de montaña y ausencia de marcos institucionales específicos para su gestión.	Espacios emergentes de articulación entre instituciones públicas, investigadores y actores territoriales.
Comunicación y movilización del conocimiento	Limitada circulación del conocimiento científico hacia actores territoriales y ausencia de estrategias sistemáticas de comunicación científica.	Desarrollo de plataformas de comunicación científica, divulgación territorial y apropiación social del conocimiento.
Articulación de actores	Interacciones aún fragmentadas entre investigadores, instituciones públicas y organizaciones territoriales.	Instancias de encuentro y colaboración promovidas por el Laboratorio Natural Andes del Sur, que facilitan el diálogo entre ciencia, política pública y territorio.

En conjunto, estas brechas y oportunidades evidencian la necesidad de fortalecer las capacidades de articulación científica, institucional y territorial en los Andes del Sur. En este contexto, el Laboratorio Natural Andes del Sur se posiciona como una plataforma estratégica para promover la integración entre investigación científica, gestión pública y actores territoriales, contribuyendo al desarrollo de conocimiento relevante para la comprensión y gestión de los sistemas socioecológicos de montaña.

Anexo 1.e:

Informe: Singularidades del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

ÍNDICE:

1. Laboratorio Temático 1: Evolución y herencia geológica

- 1.1 Arco Volcánico Activo
- 1.2 Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui
- 1.3 Continuo de Fuentes Termales
- 1.4 Territorio de desastres

2. Laboratorio Temático 2: Cambio Global, interacción bosque, suelo y recursos hídricos

- 2.1 Montaña como torre de agua
- 2.2 Gradiente de fertilidad de suelos de origen volcánico
- 2.3 Bosques templados andinos de latitudes medias

3. Laboratorio Temático 3: Modos de Vida y habitar de montaña

- 3.1 Representaciones, imaginario y paisajes transfronterizos
- 3.2 Territorio de rezago y aislamiento
- 3.3 Economías divergentes y conflictos territoriales

1. Laboratorio temático 1: Evolución y herencia geológica

El Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile cuenta con una gran diversidad geológica asociada al proceso de subducción, en donde la placa oceánica de Nazca se desplaza por debajo de la placa continental de Sudamérica. En este contexto geológico se producen distintos fenómenos, entre los que destacan la formación de montañas u orogénesis, actividad volcánica, desde la generación de magmas en profundidad hasta las erupciones en superficie, remociones en masa, que corresponden a deslizamientos de roca y/o aluviones, tectonismo en fallas y sismicidad (terremotos) y ocurrencia de termas y geysers asociados a un flujo de calor anómalo. Varios de estos fenómenos están relacionados a la actividad del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui, con actividad sísmica histórica y somera que tiene más de 1.200 km largo, y que se presenta desde el volcán Callaqui en su extremo norte, hasta el fiordo de Aysén, y que episódicamente presenta actividad sísmica. Este sistema de fallas se encuentra espacial y genéticamente relacionado a una cadena de volcanes que integran la denominada Zona Volcánica Sur, gran parte de este segmento es coincidente con el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Las singularidades que destacan en el Laboratorio Natural Andes del Sur asociadas al Laboratorio Temático Evolución y Herencia Geológica son: arco volcánico activo, sistema de fallas Liquiñe-Ofqui, continuo de fuentes termales y territorio de desastres.

1.1. Arco volcánico activo

Un área geográfica singular del Laboratorio Temático 1 corresponde al arco volcánico activo (Figura 1). Entre los 38 y 44°S se encuentran 29 de los 87 volcanes activos según el ranking de riesgo específico de volcanes activos en territorio nacional elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) en el año 2023. En términos geológicos, un volcán se considera activo si ha presentado actividad durante los últimos 10.000 años.

El arco volcánico de los Andes del Sur es un laboratorio natural para el estudio y comprensión de la generación de magmas, así como también la evaluación y gestión de riesgos volcánicos. Todo el margen occidental chileno se ubica en un contexto de margen convergente de placas tectónicas, en donde la placa oceánica Nazca se desplaza por debajo de la placa continental Sudamericana, proceso denominado subducción. Es en este contexto en donde se formó la cordillera de los Andes y la cadena de volcanes activos.

Lavas, flujos piroclásticos, lahares, flujos de detritos producto de colapso sectorial de estratovolcanes, y la caída de tefra son algunos de los peligros y riesgos más importantes asociados al volcanismo andino (Stern, 2004).

Stern (2004) definió zonas de acuerdo a la distribución del volcanismo en el margen andino, las cuales se conocen como: Zona Volcánica Norte (ZVN: 2°N-5°S), Zona Volcánica Central (ZVC: 14°-28°S), Zona Volcánica Sur (ZVS: 33°-46°S) y Zona Volcánica Austral (ZVA: 49°-55°S). Las zonas pertenecientes al territorio nacional corresponden a las ZVC, ZVS (Figura 1) y ZVA, por lo que, consecuentemente, Chile es caracterizado por ser una de las regiones con mayor potencial geotérmico del mundo (Lahsen et al., 2005), teniendo dentro de su territorio más de 200 estratovolcanes y al menos 12 sistemas de calderas gigantes potencialmente activos.

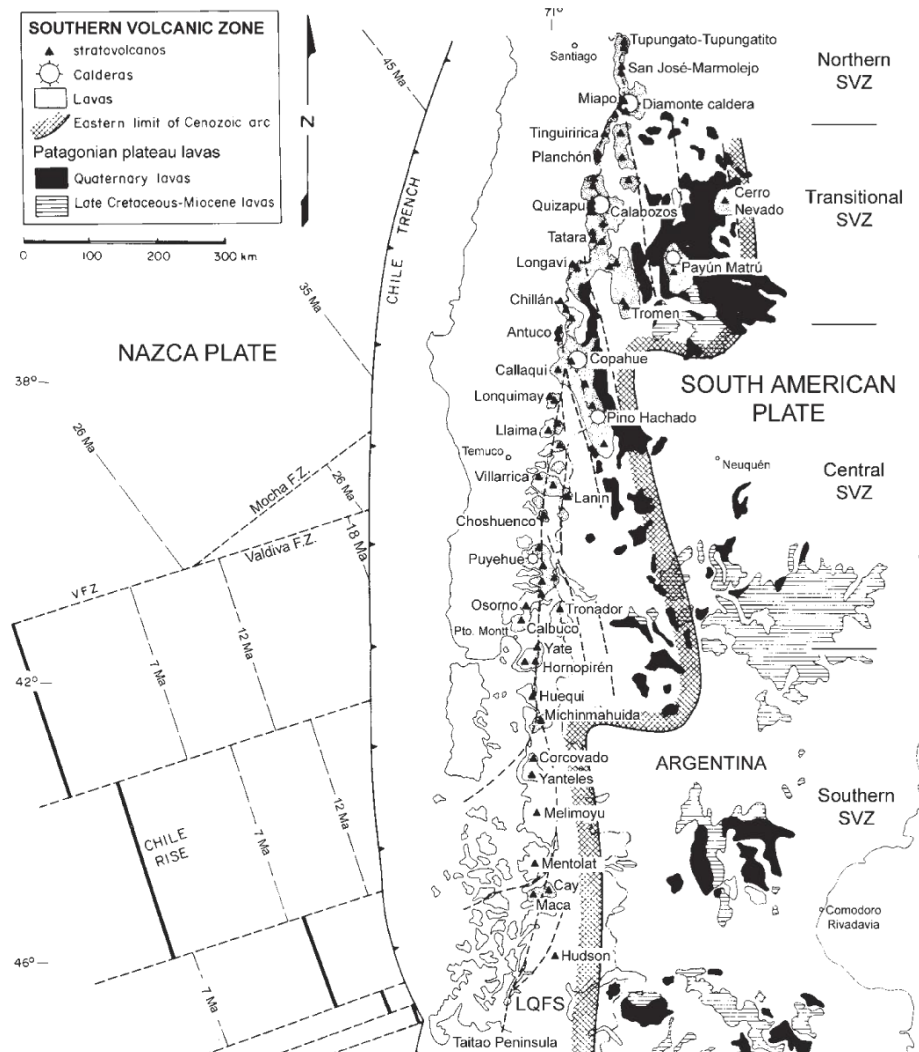


Figura 1: Volcanes y calderas pertenecientes a la Zona Volcánica Sur (SVZ, por sus siglas en inglés). La línea discontinua con sentido aproximadamente N-S corresponde al Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (LOFS). Obtenido de Stern et al., 2007.

La línea de investigación predominante en este laboratorio es la de Volcanología y peligro volcánico, la cual estudia la comprensión del emplazamiento, crecimiento y evolución de los sistemas volcánicos, sus peligros y su relación con las comunidades expuestas. La distribución espacial de los resultados del análisis bibliométrico muestra que la gran mayoría de las publicaciones científicas asociadas a esa línea de investigación se concentran en las comunas Villarrica, Pucón, Panguipulli, Lago Ranco, Río Bueno, Puyehue, Puerto Varas y Chaitén.

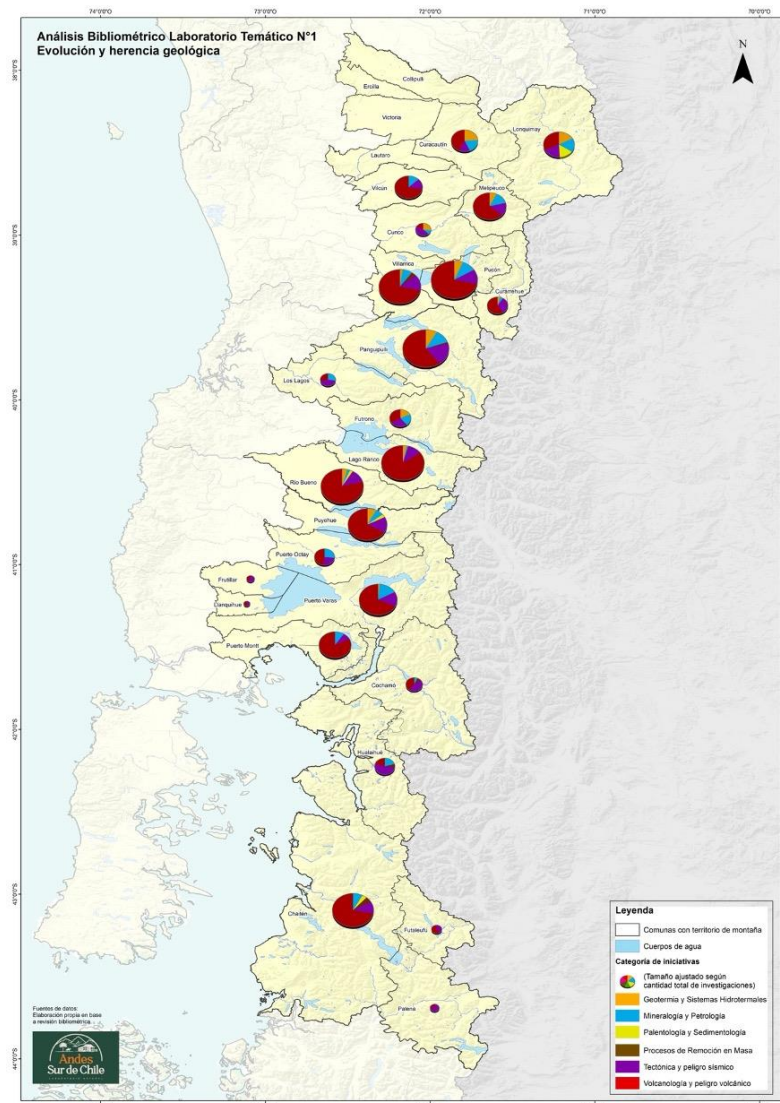


Figura 2. Distribución espacial de resultados de Análisis Bibliométrico Laboratorio Temático 1: Evolución y Herencia Geológica

Lo anterior se asocia a la presencia de volcanes con alto riesgo específico en este segmento de la Zona Volcánica Sur, los cuáles han sido intensamente estudiados por diversos investigadores (Stern, 2004; Major & Lara, 2013; Lara *et al.*, 2004; Romero *et al.*, 2018; Franco *et al.*, 2019; Castruccio *et al.*, 2016; Lara *et al.*, 2012, entre otros) debido a sus más recientes erupciones: Villarrica (2015), Llaima (2007-2009), Calbuco (2015), Puyehue-Cordón Caulle (1960, 2011), Osorno (1835), Mocho-Choshuenco (1864), Carrán-Los Venados (1979), Chaitén (2008) y Lonquimay (1988-1989).

A continuación, se presentan las características generales de los sistemas volcánicos existentes en el Laboratorio Natural Andes del Sur que se encuentran en el ranking de riesgo específico según SERNAGEOMIN (2023), los números entre paréntesis indican su posición en el ranking:

Volcán Villarrica (1):

El volcán Villarrica es uno de los volcanes con mayor registro histórico de erupciones de Sudamérica. Se ubica al SE y NE de los lagos Villarrica y Calafquén, respectivamente, y su forma cónica casi perfecta permite reconocerlo desde la distancia. Corresponde a un estratovolcán localizado en el extremo occidental de una destacada cadena volcánica de dirección NO-SE, que alinea a los volcanes Villarrica, Quetrupillán y Lanín. Posee un cráter abierto de 200 m de diámetro, con fumarola continua y un lago de lava cuasi permanente, cuya superficie posee altura variable. El volcán está cubierto por un importante glaciar que se extiende por 30,3 km² con un volumen equivalente en agua de ~4,2 km³.

El volcán Villarrica inició su actividad hace aproximadamente 650.000 años y, desde entonces, ha presentado erupciones tanto explosivas como efusivas. Su actividad se caracteriza por la emisión de magmas de composición basáltica a andesítico-basáltica, que se manifiestan en flujos de lava, caída de tefra, flujos piroclásticos y lahares.

Durante el período postglacial, su actividad explosiva dio origen a voluminosos flujos piroclásticos y a la formación de calderas. Los eventos de mayor magnitud ocurrieron hace aproximadamente 13.900 y 3.900 años, generando depósitos con volúmenes estimados en 10 y 3 km³, respectivamente.

En total, se han documentado al menos 79 erupciones (ver Tabla 1), de las cuales tres corresponden a tiempos prehistóricos y presentan los mayores índices de explosividad volcánica (VEI, por sus siglas en inglés: *Volcanic Explosivity Index*). En el siglo XX, la erupción más significativa tuvo lugar en 1948, cuando se desarrollaron flujos piroclásticos de pequeño volumen que afectaron el flanco occidental del volcán. Su erupción más reciente ocurrió en 2015.

Tabla 1. Registro de erupciones del volcán Villarrica. Elaboración propia a partir de Bono (2014), Casertano (1963c), Castruccio (2008), Cembrano y Lara (2009), Contreras (2013), Clavero y Moreno (1994), Constantini et al., (2011), Dzierma y Wehrmann (2010), Flores (2014), Global Volcanism Program (1984,1992, 1994, 1995, 1999, 2000, 2001, 2015), González-Ferrán (1995), Lara y Clavero (2004), Lohmar et al., (2007), Moreno (1993), Moreno (2000), Moreno y Clavero (2006), Naranjo (2015), Ortiz et al., (2003), Palma et al., (2008), Petit-Breuilh (2004), SERNAGEOMIN (2015), Sobrado et al., (2014), Van Daele et al., (2014).

Año	Índice de explosividad volcánica
~ 13850 A.P (*)	3
~ 3700 A.P (*)	3
~ 3100 A.P	4
1558	≤ 2
1562	≤ 2
1594	1
1640 (Febrero)	3
1647	1
1688	1
1716	1
1730	≤ 2
1737	≤ 2
1742	≤ 2

1751 (Diciembre)	1
1759	1
1775	≤ 2
1777	1
1780	1
1787	≤ 2
1790 (Enero)	1
1806 (Abril-Mayo)	≤ 2
1815	1
1822 (Noviembre)	≤ 2
1826	≤ 2
1832 (Diciembre)	≤ 2
1836	≤ 2
1837 (Noviembre)	≤ 2
1841	≤ 2
1850	≤ 2
1852 (Noviembre - Enero)	≤ 2
1859 (Mayo)	≤ 2
1864 (Octubre)	≤ 2
1869 (Febrero-Septiembre)	≤ 2
1874 (Abril)	≤ 2
1876	≤ 2
1879 (Febrero-Marzo)	≤ 2
1880	≤ 2
1883	≤ 2

1893 (Diciembre)	≤ 2
1897 (Diciembre)	≤ 2
1904	≤ 2
1906 (Marzo-Diciembre)	≤ 2
1907 (Mayo)	≤ 2
1908 (Octubre-Diciembre)	≤ 2
1909 (Agosto)	≤ 2
1915	1
1920 (Diciembre)	≤ 2
1921	≤ 2
1922 (Octubre)	≤ 2
1927	≤ 2
1929	1
1933 (Enero)	1
1935 (Noviembre-Diciembre)	1
1938	1
1948 (Abril)	3
1949	3
1956 (Octubre)	1
1961	1
1963 (Marzo-Mayo)	1
1964 (Marzo-Abril)	≤ 2
1971 (Octubre-Febrero)	≤ 2

1977 (Enero)	1
1980 (Junio-Septiembre)	≤ 2
1983 (Octubre)	1
1984 (Octubre)	≤ 2
1991 (Agosto-Septiembre)	≤ 2
1992 (Septiembre-Diciembre)	1
1994 (Septiembre-Diciembre)	1
1995 (Abril)	1
1996 (Septiembre)	1
1998 (Enero-Febrero)	1
1999 (Noviembre-Diciembre)	1
2000	1
2004	1
2008 (Octubre)	1
2009 (Febrero-Marzo)	1
2013	1
2014 (Diciembre)	1
2015 (Marzo)	2

Volcán Calbuco (2):

Se ubica unos 30 km al noreste de la ciudad de Puerto Montt y 30 km al este de Puerto Varas. Corresponde a un estratovolcán cuyo edificio es un cono truncado de perfil

irregular, y a diferencia de la mayoría de los volcanes de los Andes del Sur, se emplaza al oeste de la traza principal de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, sin estar claramente controlado por estructuras regionales. Presenta glaciares pequeños en la cima, aunque durante la etapa invernal es ampliamente cubierto por la nieve sobre la cota 1.000 m s.n.m. En cuanto a sus erupciones, éstas han sido principalmente de tipo subpliniano, la última ocurrió en el año 2015.

Volcán Llaima (3):

Es uno de los volcanes más activos de Sudamérica y uno de los más voluminosos de los Andes del Sur. Su flanco occidental, suroccidental y oriental están cubiertos por cerca de 29 km² de glaciares.

Su edificio volcánico tiene una forma mayoritariamente cónica, sin embargo, consta de dos cimas principales y cerca de 40 centros de emisión adventicios. Los productos volcánicos generados por el volcán Llaima son principalmente basaltos y andesitas basálticas. Adicionalmente, se emplaza dentro del Parque Nacional Conguillío, uno de los polos de desarrollo turístico más importantes del sur de Chile.

Su construcción comenzó durante el periodo Pleistoceno Medio, a través de la emisión de productos volcánicos que generaron una estructura ancestral. A esto, le siguió una fase explosiva que dio lugar a la formación de la Ignimbrita Curacautín, datada en cerca de 13.400 años A.P. El registro eruptivo histórico incluye 48 eventos documentados entre 1640 y 2009, durante los cuales se produjo la emisión de coladas de lava, formación de lahares, proyección de piroclastos y, ocasionalmente, la generación de flujos piroclásticos. Su último ciclo eruptivo se inició en mayo de 2007 con una débil emisión de ceniza que fue seguida por diversos episodios de actividad estromboliana moderada y vigorosa ocurridos durante los años 2008 y 2009.

Complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle (4):

Es un conjunto de centros emisores coalescentes Pleistocenos- Holocenos situados en la provincia central de los Andes del Sur. Entre los volcanes principales que forman este complejo, cuya arquitectura es la de un alineamiento de rumbo NW-SE, se encuentra la caldera Cordillera Nevada, el estratovolcán Puyehue y el sistema fisural volcán Cordón

Caulle. Además, otros centros integran el conjunto como el erosionado volcán Mencheca y una serie de conos y maares holocenos que constituyen centros eruptivos menores. Este complejo es el campo volcánico más voluminoso al sur de la región del Maule y alberga el segundo mayor campo geotérmico reconocido en los Andes del Sur. En conjunto, los productos volcánicos generados por este complejo cubren un amplio rango composicional desde basaltos a riolitas. Las erupciones más recientes, tanto del estratovolcán Puyehue como del sistema fisural volcán Cordón Caulle, cubren un rango más estrecho dominando riodacitas y riolitas. La actividad eruptiva se inicia hace aproximadamente 500 mil años, desarrollándose parcialmente contemporánea a los distintos centros eruptivos que lo conforman. La primera fase de construcción culminó con colapsos y períodos de erosión intensa y fue seguida por una etapa de reconstrucción de los edificios en los últimos 100 mil años que finalmente ha dado forma a las morfologías volcánicas actuales. En los últimos 100 años han ocurrido 3 erupciones importantes: 1921 – 1922; 1960 y 2011 – 2012; todas ellas en el volcán Cordón Caulle. Destaca la erupción de 1960, iniciada a menos de 2 días del gran terremoto de Valdivia.

Complejo Volcánico Carrán-Los Venados (6):

Es un conjunto de alrededor de sesenta conos de piroclastos y maares, además de un pequeño estratovolcán, Los Guindos. Este conjunto se emplaza en un sector topográficamente deprimido de la sección superior de la cuenca del lago Ranco. A excepción del estratovolcán Los Guindos, la actividad eruptiva ligada a la formación de este campo es esencialmente posglacial y mayormente holocena. El estilo eruptivo dominante se caracteriza por la ocurrencia de erupciones estrombolianas con emisión de lavas y piroclastos de composición basáltica y andesítico-basáltica, como también erupciones freatomagmáticas que dan origen a maares y 'anillos de toba'.

Erupciones históricas se registraron en los años 1907, 1955 y 1979, las que generaron el maar Riñinahue, el maar Carrán y el cono de escorias Mirador, respectivamente. El proceso eruptivo de 1955, el mayor de tiempos históricos de este campo, se caracterizó por explosiones freatomagmáticas que elevaron la columna de gases, vapor de agua, y ceniza entre 8 y 10 km de altura y habría eyectado entre 0,25 y 0,37 m³ de trefra.

Volcán Chaitén (7):

Es un centro volcánico de pequeñas dimensiones, situado al oeste del volcán Michinmahuida. Posee una caldera de 2,5 x 4 km de ancho, dentro de la cual hay un complejo volcánico de domos. La caldera está conformada por una secuencia preglacial

de lavas y brechas. Uno de los domos de la caldera fue parcialmente destruido por la erupción pliniana del año 2008 y reconstruido por el mismo ciclo eruptivo. Actualmente, un nuevo domo de aproximadamente 1 km³ ocupa la posición central de la caldera y mantiene actividad fumarólica débil.

La historia eruptiva del volcán Chaitén, en lo que respecta a su fase de construcción previa al Holoceno, es aún desconocida. Una secuencia de lavas andesítico-basálticas con rasgos de contacto con hielo sugiere un periodo de volcanismo principalmente subglacial. La actividad eruptiva en los últimos 10 mil años, en cambio, incluye importantes eventos explosivos de gran magnitud, en cuyos ciclos eruptivos se emitió magma riolítico, inusual en este sector de los Andes del Sur y profundamente contrastante con los productos generados por su vecino, el volcán Michinmahuida. La primera erupción histórica del volcán Chaitén comenzó en 2008 y produjo actividad altamente explosiva, donde se emitieron productos de composición riolítica y se construyó un domo de lava que terminó ocupando gran parte de la caldera.

Volcán Osorno (8):

El volcán Osorno se ubica a 47 km al noreste de la ciudad de Puerto Varas, y en su flanco occidental, a solo 11 km del cráter se sitúa el poblado de Las Cascadas. Es un estratovolcán compuesto perteneciente a la Zona Volcánica Sur de Los Andes, y en conjunto con los volcanes La Picada, Puntiagudo y Cordón Cenizos, forma una cadena volcánica transversal de orientación N60°E. La parte superior del edificio volcánico se encuentra cubierta por un glaciar con unos 0,14 km³ de hielo.

Su actividad eruptiva se inicia en el Pleistoceno Medio hace cerca de 200.000 años, edificándose un estratovolcán inmerso en el campo de hielo que dominaba el paisaje durante la llamada Glaciación Santa María, erosionado profundamente durante la fase terminal de ésta. Sobre esta estructura desmantelada se inició la construcción del volcán actual. En este episodio, el cono central habría sido reconstruido en un ambiente libre de hielo, pero aún dominado por glaciares en los valles principales que se extienden a sus pies. La edificación del estratovolcán compuesto continuó en el Pleistoceno Superior de manera contemporánea con la Glaciación Llanquihue, aunque fue contemporáneamente erosionado por el avance de los glaciares principales. La actividad eruptiva posglacial se caracteriza tanto por la ocurrencia de erupciones del cráter central como por la actividad de centros parásitos ubicados en los flancos. Estos últimos corresponden a conos piroclásticos basálticos y domos dacíticos, aislados y de

distribución radial, o conjuntos de conos múltiples y fisuras eruptivas que se organizan en cadenas NE-SW. A las erupciones del cráter central se asocian también erupciones de mayor explosividad, las que han generado flujos piroclásticos basálticos y tefras de composición dacítica. La actividad eruptiva histórica del volcán Osorno se ha caracterizado esencialmente por episodios de baja explosividad, entre los cuales destaca la erupción fisural de 1835 AD. La débil fumarola descrita desde principios del siglo XX bajo el hielo de la cima parece haberse atenuado en la actualidad

Complejo volcánico Mocho Choshuencho (9):

Está formado por los centros homónimos que se sobreponen formando un alineamiento de orientación NW-SE. Morfológicamente, el complejo consiste en una estructura tipo caldera formada por el colapso de un volcán ancestral y que comprometió también parte del volcán Choshuencho. Esta estructura genera una morfología achatada, suavemente inclinada hacia el sur y elongada en dirección NW-SE, de 4,5 km de diámetro mayor y que en su interior alberga un glaciar. El interior de la caldera alberga un cono central denominado El Mocho. Asimismo, el complejo incluye alrededor de 20 centros adventicios organizados en dos grupos distribuidos sobre sus flancos suroeste y este, además de un cráter de explosión en su flanco oeste. Por otra parte, al pie del complejo se encuentra un grupo volcánico independiente de unos veinte conos de piroclastos y lavas asociadas denominado Grupo Fuy.

Las unidades volcánicas más antiguas han sido fechadas en alrededor de 300 mil años y la formación de la caldera habría ocurrido hace unos 60 mil años. En los últimos 10 mil años la actividad ha sido intensa tanto en el edificio central como en los centros de flanco o periféricos. Algunas erupciones han sido altamente explosivas, entre las que destacan las erupciones plinianas ocurridas hace 11.000, 10.000 y 8.000 años A.P. El complejo registra 5 erupciones históricas caracterizadas por interacción de magma y agua: la primera en 1759, y la última y más violenta en 1864. Se ha estimado que el complejo tiene una recurrencia eruptiva de una erupción cada 150 años. Actualmente, no presenta actividad visible, aunque se registra actividad microsísmica.

Lonquimay (11):

El Complejo volcánico Lonquimay corresponde a un estratovolcán simétrico -con un cráter elíptico de 700 metros de diámetro en su eje mayor- formado principalmente durante el Pleistoceno Superior-Holoceno. Está compuesto por un estratocono principal y por una cadena de centros adventicios más pequeños presentes, principalmente, hacia

el noreste a lo largo de una fisura de 8 km de longitud denominada 'Cordón Fisural Oriental'. A lo largo de su evolución el volcán ha producido flujos de lava, flujos piroclásticos, flujos laháricos y caída piroclástica, esencialmente de composición andesítica, aunque composiciones andesítico-basálticas y dacíticas también han estado presentes. Las coladas de lava alcanzan incluso el río Cautín, distante a más de 18 km del volcán; se han reconocido depósitos de flujo piroclástico de hasta 10 km de alcance; los depósitos laháricos se concentran en torno al río Colorado hasta una distancia de 8 km y los depósitos de caída se localizan hacia el este y sureste principalmente. El Cordón Fisural Oriental consta de una docena de cráteres, fisuras, conos piroclásticos y domos. Las lavas varían composicionalmente de andesitas-basálticas a dacitas. En tiempos históricos sólo se ha documentado actividad desde el Cordón Fisural Oriental, desde donde se han emitido flujos de lava de hasta 10 km de longitud, especialmente durante las erupciones de 1887-90 y 1988-90. La erupción de 1988-90 ocasionó la formación del cono de piroclastos Navidad, ubicado en el pie este-noreste del cono principal, el cual emitió una colada andesítica que descendió por el valle del río Lolco. En los últimos 10.000 años se han identificado al menos 19 erupciones. En tiempos históricos se han documentado erupciones en los años 1853, 1887-90, 1933, 1940 y 1988-90, todas generadas en el Cordón Fisural Oriental y donde predominan aquellas de tipo estromboliana o vulcaniana.

Antillanca (16):

Es un campo distribuido de centros de emisión activo desde el Pleistoceno Medio. La evolución del complejo contempla la formación de numerosos aparatos volcánicos, tanto monogenéticos como poligenéticos. Los productos emitidos por los sucesivos centros emisores son mayoritariamente basálticos a andesítico basálticos, aunque existen variedades más ricas en sílice que al mismo tiempo se asocian a eventos eruptivos de mayor explosividad. Las unidades volcánicas más antiguas, que forman una meseta erosionada sin vestigios de los centros emisores, son composicionalmente más primitivas. Sobre estas secuencias se establecieron volcanes de escudo y estratoconos cuyos núcleos pueden aún reconocerse. Las lavas asociadas a estos centros presentan mayor diversidad composicional, aunque dominan basaltos y andesitas basálticas. Los centros eruptivos postglaciales, tanto aquellos tempranos como los más recientes, forman esencialmente cadenas de conos piroclásticos y estratoconos que han evacuado

magmas máficos. Los más sobresalientes son el volcán Casablanca, un volcán de escudo de tamaño mediano, y el Haique, un cono piroclástico anidado inusualmente voluminoso. El estilo eruptivo reflejado en las unidades volcánicas indica principalmente erupciones hawaianas y estrombolianas, aunque excepcionalmente se ha reconocido evidencias de una erupción subpliniana en el Cráter Rayhuén, un cráter de explosión formado al pie del volcán Casablanca.

Aunque no existe registro de actividad eruptiva histórica, la juventud de algunos depósitos sugiere un nivel de actividad comparable a los estratovolcanes de la región.

Michinmahuida (19):

El volcán Michinmahuida corresponde a un voluminoso estratovolcán ubicado a unos 20 km al este del recientemente activo volcán Chaitén. En este sistema volcánico se reconoce una estructura caldérica, dentro de la cual se ha construido el estratocono principal. Pequeños conos piroclásticos se emplazan principalmente hacia el sur, oeste y noreste del volcán, algunos con flujos de lava asociados. Presenta una persistente cobertura de hielo, con lenguas glaciales dirigidas a los valles principales.

Su actividad durante el Holoceno es poco conocida, aunque estudios recientes indican al menos una gran erupción generadora de potentes depósitos ignimbríticos andesítico-basáltico ocurrida cerca de 9 mil años antes del presente. Por otro lado, durante el Holoceno, habrían ocurrido importantes erupciones explosivas, con dispersión de material piroclástico hacia el este. Las lavas de este volcán son de composición mayoritariamente andesítico-basálticas aunque en los piroclastos se han identificado términos más evolucionados (andesíticos y dacíticos). No hay certeza de la fecha de la última actividad eruptiva. Sin embargo, el naturalista británico Charles Darwin reportó una erupción en Chiloé continental durante la primera mitad del siglo XIX (1835), cuyo origen podría corresponder al volcán Michinmahuida, la cual produjo un flujo de lava y lahares que alcanzaron la costa de Punta Chana.

Yate (20):

Próximo al estuario de Reloncaví, entre las provincias de Llanquihue y Palena en la región de Los Lagos, el volcán Yate pertenece a un segmento volcánico fuertemente controlado por la acción de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui. Su edificio corresponde a un estratovolcán compuesto, presumiblemente Pleistoceno, elongado en dirección NNO. Presenta importantes evidencias de acción glacial, albergando actualmente una importante cubierta de hielos tanto en su cima como en

algunos de sus flancos. Sus productos corresponden a lavas, domos y depósitos de flujos piroclásticos, variando composicionalmente desde andesita a dacita.

Este volcán no registra actividad eruptiva histórica. Sin embargo, existen registros históricos de una serie de eventos catastróficos, como avalanchas de detritos, aludes y crecidas de ríos en los siglos XIX y XX. Por datación con radiocarbono sobre depósitos de tefra en el flanco SE, se obtuvo que la última actividad eruptiva ocurrió en el año 1090, aproximadamente.

Sollipulli (21):

El volcán Sollipulli es una caldera de 4 km de diámetro promedio, muy bien preservada, ubicada 96 km al este-sur-este de Temuco, entre los volcanes Llaima y Villarrica, dos de los más activos de Sudamérica. Esta caldera anida un gran glaciar de cerca de 2 km³ que cubre un área total de 12,5 km². El volcán Sollipulli está rodeado por una docena de cráteres y conos de piroclastos algunos con lavas asociadas, los últimos de los cuales corresponden a los conos Redondo y Chufquén.

El mayor evento eruptivo asociado a este centro fue datado en 2.900 años, y corresponde a una erupción pliniana de gran magnitud (IEV=5) que generó el cráter Alpehue, al SW de la caldera. Se estima que este evento formó una columna eruptiva de varios km de altura, emitiendo 7,5 km³ de pómez de caída y 0,4 km³ de flujos piroclásticos pumíceos. La erupción Alpehue se habría desencadenado por el ascenso de un gran volumen de magma andesítico-basáltico en la parte alta de una cámara zonada que contenía un volumen menor de magma silíceo diferenciado. No existe documentación de erupciones asociadas a este volcán en tiempos históricos.

Puntiagudo-Cordón Cenizos (24):

Este sistema volcánico, correspondiente al estratovolcán Puntiagudo y al sistema fisural del Cordón Los Cenizos, está ubicado a los 41°S y aproximadamente a 2.500 m.s.n.m., y tiene edad pleistocena (González-Ferrán, 1995; Bertrand et al., 2008; Corbella & Lara, 2008), presentando un lineamiento estructural NE-SW asociado a la ubicación de los volcanes Osorno, La Picada y Antillanca. El volcán Puntiagudo reporta erupciones de química alcalina relacionada a basaltos y andesitas basálticas. Su morfología aguda se debe a una fuerte erosión glacial que no fue modificada por actividad volcánica posterior. No existen registros de erupciones históricas.

Quetrupillán (26):

El volcán Quetrupillán es un complejo volcánico compuesto por estratovolcanes, calderas anidadas, domos, fisuras y conos de piroclastos. Los productos emitidos cubren un amplio rango composicional que va desde basaltos a dacitas, en que escasean las composiciones intermedias. Una importante secuencia piroclástica muestra el carácter explosivo de su estilo eruptivo en los últimos 10.000 años. Asimismo, la erupción de magmas ricos en sílice ha dado lugar a la formación de domos y coulées en el interior de la caldera mientras algunos conos piroclásticos basálticos se emplazan en su flanco.

El evento de colapso más reciente sería posglacial, aunque no existen antecedentes detallados. Durante el holoceno se han reconocido al menos 9 erupciones explosivas que han generado flujos piroclásticos y oleadas que han alcanzado el valle del Trancura. La mayor erupción holocena registrada ocurrió hace ~2.000 años AP, de estilo eruptivo subpliniano, que generó una columna eruptiva que tuvo dispersión hacia el este y noreste, y la emisión de un flujo piroclástico.

Lanín (27):

El volcán Lanín es un estratovolcán situado en la zona fronteriza andina de Chile (región de La Araucanía) y Argentina (provincia de Neuquén) y forma parte de las áreas silvestres protegidas del Parque Nacional Villarrica. El volcán Lanín tiene una estructura de un cono simétrico, con centros adventicios en sus flancos. Resalta como una de las cumbres mayores de la región y junto con los volcanes Quetrupillán y Villarrica, además de otros centros eruptivos menores, forma una cadena volcánica transversal de orientación NO-SE.

Su actividad eruptiva se inicia en el Pleistoceno Medio hace cerca de 200 mil años. El volcán ancestral fue profundamente erosionado por el hielo y sobre sus restos se construyó el edificio actual dando forma a la mayor cumbre de la región. El estilo eruptivo dominante es efusivo, con profusa emisión de lavas basálticas y en menor proporción dacíticas. Durante el Holoceno, ocurrieron contemporáneamente erupciones en el cráter central y en los centros eruptivos de flanco, algunas de ellas probablemente hace solo algunos siglos. Su mayor erupción holocena, se habría generado hace unos 3 mil años, y generó un flujo piroclástico y una columna eruptiva que se dispersó hacia el noreste. Si bien no existen registros eruptivos para este volcán, leyendas de pueblos originarios de los alrededores del volcán y la excelente preservación de algunos depósitos, sugiere la ocurrencia de eventos prehispánicos recientes.

Hornopirén (29):

El volcán Hornopirén, localizado al sursuroeste del volcán Yate, es un estratovolcán basáltico-andesítico que está mayormente cubierto por bosques y un glaciar en su cima. Este volcán, cuyo nombre significa "horno de nieve", yace a lo largo de un graben definido por la mayor zona, a nivel regional, de la falla Liquiñe-Ofqui, al norte de la carretera Austral e inmediatamente al sur del Lago Cabrera.

No existe registro histórico confirmado de erupciones. Sin embargo, hay testimonios que afirman que hubo una erupción en 1835, pero no se conocen los detalles de dicha erupción.

Apagado o Hualaihué (30):

El volcán Apagado está incluido dentro del Complejo Volcánico Yate y está inserto en la comuna de Hualaihué.. Abarca un área de 40 km² y está representado por una secuencia caracterizada por lavas basálticas, intercaladas con brechas hialoclásticas, depósitos de corrientes de densidad piroclástica (flujos y de oleadas piroclásticas), desde un centro emisor colapsado, en forma de una pequeña caldera-volcán Gualaihué-, y parcialmente erosionado por actividad glacial.

Cayutué-Ralún- Viguería (33):

El campo volcánico Cayutué-La Viguería está compuesto por alrededor de 20 maares basálticos y conos de escoria de edad holocena, alineados a lo largo de la zona de falla Liquiñe-Ofqui, con rumbo norte-sur. El campo ocupa un área baja entre el extremo sur de la Ensenada Cayutué (la extensión sur del lago Todos los Santos) y el extremo norte del Estuario de Reloncaví. La Viguería y el volcán Cayutué son los principales conos.

La formación de La Viguería y los flujos de lava asociados represaron temporalmente el río Petrohué hace aproximadamente 3.000 años, formando un lago efímero que fue rellenado con depósitos provenientes de los volcanes Calbuco y Osorno. Los conos piroclásticos y los flujos de lava rellenaron la depresión de la Ensenada de Cayutué, separando el lago Todos los Santos de la bahía de Ralún.

Tolhuaca (37):

El Tolhuaca es un estratovolcán del Pleistoceno tardío al Holoceno ubicado inmediatamente al noroeste del volcán Lonquimay. Los reportes de erupciones en 1876 y el 7 de enero de 1933 no están confirmados; esta última fecha probablemente corresponde a una erupción del volcán Lonquimay o del volcán Llaima (Petit-Breuilh, 1994). Polanco et al. (2000) señalaron que la actividad explosiva consistió en tres erupciones con un VEI 3–4 entre 8050 y 6590 años AP.

Durante el tiempo histórico, este volcán basáltico-andesítico solo ha presentado actividad fumarólica. Fumarolas y fuentes termales son comunes en el flanco noroeste, donde existe un reservorio geotérmico activo (Melosh et al., 2012).

Yanteles (38):

El poco conocido volcán Yanteles, cubierto por glaciares en el sur de Chile, se ubica en el extremo de un macizo volcánico situado a 60 km al sur de la ciudad de Chaitén, con cumbres más altas y erosionadas aproximadamente 5 km hacia el este y a lo largo de un cordón que se extiende 10 km hacia el suroeste.

Varias capas de tefra del Holoceno han sido atribuidas a este volcán. Existen reportes de una erupción en el momento del terremoto de Chile del 20 de febrero de 1835, y Sapper (1917) señaló que, tras el sismo de 1835, se observaron allí áreas negras que no habían sido vistas previamente; sin embargo, la naturaleza de esta actividad no está confirmada.

Grupo Caburgua (43):

Cuatro grupos de conos de escoria basálticos se ubican al este del Lago Villarrica y al noreste del volcán Villarrica. Los grupos más septentrional y más meridional, los Volcanes de Caburgua y el Volcán Huelemolle, respectivamente, se emplazan a lo largo de la principal zona de falla regional Liquiñe-Ofqui. Los Volcanes de Caburgua se sitúan en el extremo sur del Lago Caburgua y consisten en seis conos de escoria basálticos del Holoceno temprano. Los flujos de lava provenientes de estos conos contribuyeron al bloqueo de drenajes fluviales que dieron origen al lago.

El grupo más austral, Volcán Huelemolle, está compuesto por tres conos de escoria basálticos del Holoceno temprano ubicados entre los ríos Liucura y Pucón (o Minetué). Los otros dos grupos de conos, Cerro Redondo y Pichares, se localizan al este de Caburgua y Huelemolle.

La evidencia estratigráfica indica que estos grupos de conos basálticos estuvieron activos entre aproximadamente 8.000 y 6.000 años atrás.

Grupo Alto Palena (44):

Huequi (47):

El volcán Huequi se compone de un conjunto de domos y depósitos piroclásticos asociados, estos últimos generados probablemente por el colapso de los domos activos aunque también se reconocen depósitos de caída y de avalancha. Se emplaza en el centro de la península de Ayacara, Chiloé Continental, sitio remoto y de difícil acceso por vía terrestre. Los productos identificados se caracterizan por composiciones que van desde andesitas-basálticas a dacitas. Estudios recientes indican propiedades geoquímicas y mineralógicas singulares poco comunes en el contexto regional de este segmento en la zona volcánica sur de los Andes. Estas características tendrían, a su vez, influencia en el estilo eruptivo dominante que contrasta con volcanes vecinos.

Existen reportes de pequeñas erupciones en los años 1890 y 1920, aunque se desconoce si esta actividad tuvo relación con la extrusión de magma en forma de domos. Por otro lado, estudios tefrocronológicos regionales no han reportado erupciones mayores de este complejo volcánico durante el Holoceno.

Fui (51):

Corcovado (57):

El volcán Corcovado se localiza en la provincia de Palena, en la Región de los Lagos. Su presencia domina el paisaje del golfo de Corcovado, a unos 25 km al sur de la desembocadura del río Yelcho y a unos 50 km al norte de la desembocadura del río Tic Toc. De composición fundamentalmente basalto-andesítica, el volcán Corcovado está erosionado por glaciares y rodeado por conos de ceniza Holocenos. Una serie de lagos se encuentran en el flanco este del volcán.

Estudios sobre de los depósitos de caída, indican erupciones explosivas de tamaño medio, entre 7.000 – 8.000 años A.P. Poco se sabe de este volcán aislado de edad Pleistocena Tardía. Darwin registró una erupción entre 1834 y 1835. Sismicidad volcano-tectónica está presente en el volcán, de manera discreta y de baja magnitud. Desde que este volcán está instrumentado (año 2013), se ha mantenido estable en alerta verde.

Barranco Colorado (58):

Llizán (64):

Palvidad

(65):

El monitoreo instrumental de algunos volcanes activos en Chile comenzó con la inauguración del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) en 1996. Sin embargo, no fue hasta 2009, tras la erupción del volcán Chaitén en mayo de 2008, que se creó la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), bajo la dependencia del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Este hito permitió pasar de monitorear apenas 8 volcanes activos en el país a 45. Esto representó un significativo aumento en la capacidad de monitoreo, estudio y análisis de los volcanes.

Actualmente, la RNVV se divide en dos unidades principales. La primera es el OVDAS (Figura 3), ubicado en la ciudad de Temuco, encargado de la vigilancia instrumental en tiempo real de los 43 volcanes más peligrosos del país, que se extienden desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Aysén. La segunda es la Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos (UGPSV), con sede en Santiago, que se encarga de la caracterización geológica de los volcanes activos y de la elaboración de mapas de peligros volcánicos.



Figura 3. Sala de monitoreo Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur ubicado en la ciudad de Temuco (fuente: SERNAGEOMIN).

1.2. Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui

En esta área destaca la principal zona de falla de cizalle dextral transpresiva de intra-arco, denominada Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui (SFLO) (Figura 4), la cual presenta una extensión de más de 1.200 km entre las latitudes 38°S y 47°S (Cembrano *et al.*, 1996; Cembrano *et al.*, 2000; Cembrano *et al.*, 2007; Lange *et al.*, 2008; Cembrano & Lara, 2009).

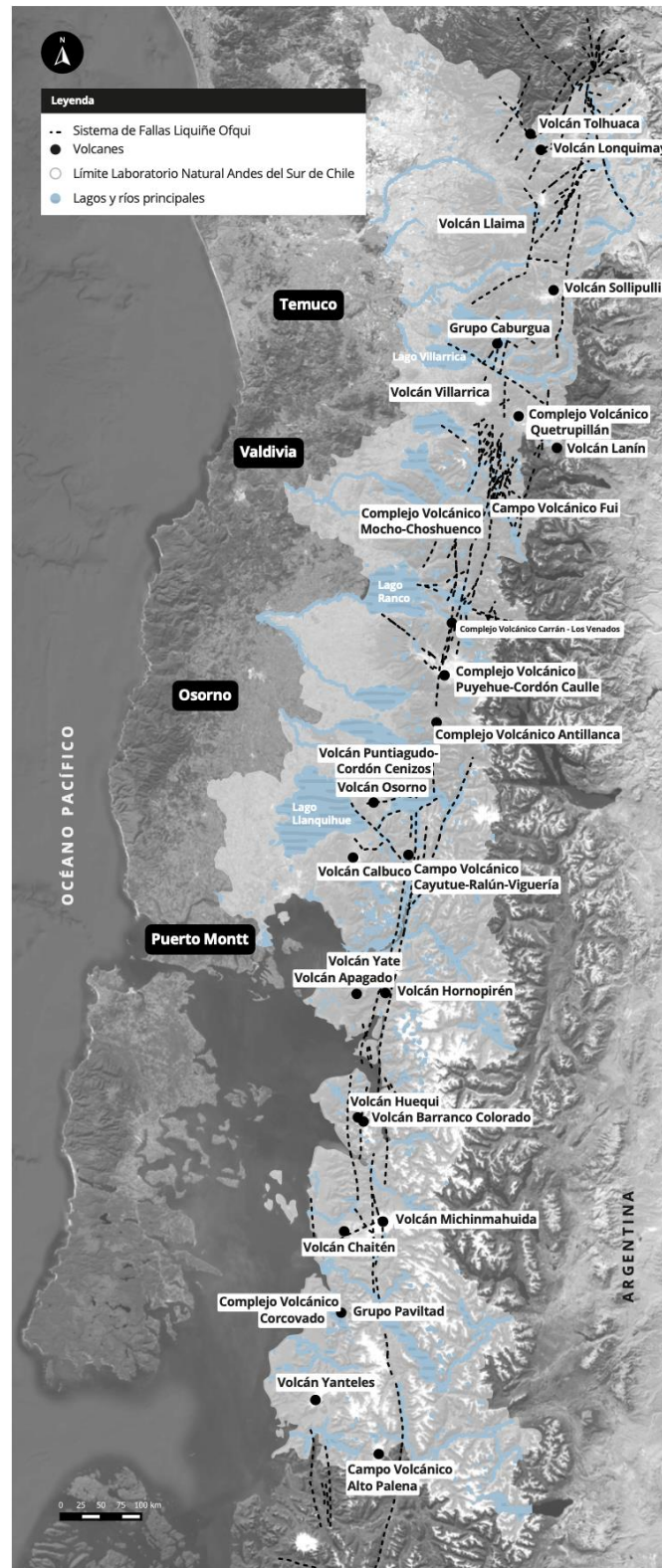


Figura 4. Ubicación geográfica del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui y el arco volcánico activo en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur. Elaboración propia.

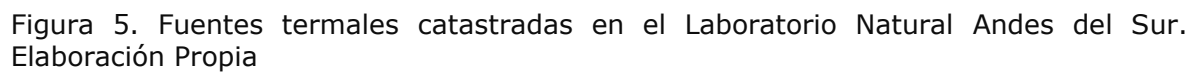
Se establece que la localización del volcanismo en esta área (ZVS) está controlada por el SFLO (López-Escobar *et al.*, 1995; Stern, 2004). Este sistema de fallas favorece el ascenso de magmas hacia la superficie.

Un estudio (Astudillo-Sotomayor *et al.*, 2021) demostró que el curso natural del río Liquiñe, en la Región de Los Ríos, experimentó una rotación cercana a los 90° como consecuencia de la deformación asociada a la actividad del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui. El análisis geomorfológico y la datación de las formas del relieve revelaron que este segmento de la falla ha presentado una tasa de desplazamiento promedio de 18,8 mm por año durante los últimos 9000 años, convirtiéndola en la falla intraplaca

más rápida de Chile. Esta elevada tasa de desplazamiento sugiere la posibilidad de terremotos corticales de magnitud moderada y/o de desplazamientos asísmicos a lo largo de la falla.

1.3. Continuo de fuentes termales

Existe una alta densidad de fuentes termales como manifestaciones en superficie de sistemas geotermales subterráneos. Este continuo de fuentes termales se extiende por todo el territorio que comprende el Laboratorio Natural Andes del Sur (Figura 5).



Un sistema geotermal posee tres características principales: (i) una fuente de calor, (ii) un reservorio para acumular calor, y (iii) una capa impermeable que mantenga el calor acumulado (Gupta & Roy, 2007). Existen diversos contextos geológicos donde estas características confluyen generando diferentes tipos de sistemas geotérmicos (Gupta & Roy, 2007). En Chile existe una estrecha relación espacial entre las manifestaciones termales y los edificios volcánicos (Hauser, 1997), planteándose de manera genérica el desarrollo de sistemas geotermiales del tipo ígneos (Goff & Janik, 2000).

Los sistemas geotermiales que se pueden encontrar en los Andes del Sur (Figura 6), están asociados al contexto de margen de placas activo, y, en consecuencia, relacionados a una gran actividad tectónica y magmática. Las aguas meteóricas son aquellas que provienen del vapor de agua atmosférico y pueden precipitar a través de la lluvia y/o nieve. Cuando estas aguas se infiltran bajo el suelo a través de zonas de debilidad, como los sistemas de fallas, y se encuentran con una fuente de calor como un cuerpo magmático a poca profundidad, se pueden calentar y elevar su temperatura, favoreciendo el flujo de calor anómalo a la superficie y dando origen a los sistemas hidrotermales que se pueden encontrar a lo largo de la zona volcánica sur.

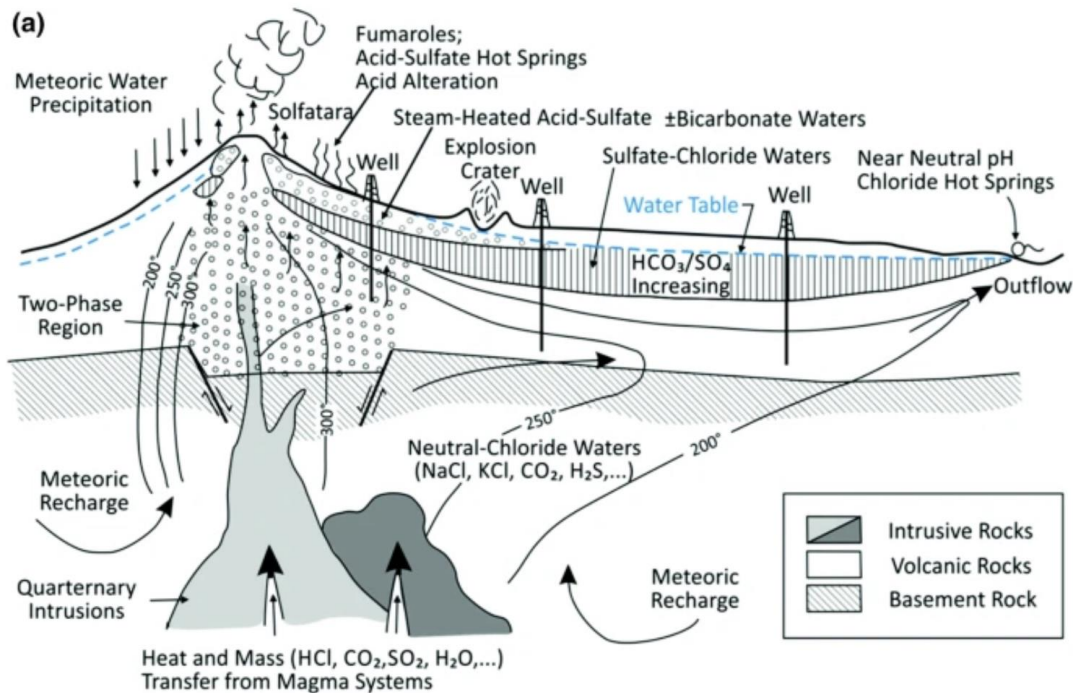


Figura 6. Modelo conceptual de un sistema hidrotermal en un estrato volcán. Tomado de Goff y Janik (2000).

1.4. Territorio de desastres

El contexto geológico en el que está emplazado el Laboratorio Natural Andes del Sur hace que el territorio esté expuesto a una diversidad de peligros geológicos tales como terremotos, erupciones volcánicas, procesos de remociones en masa, entre otros. Estos eventos suponen una amenaza natural para prácticamente todo el territorio chileno. Algunas de estas han provocado efectos catastróficos que han impactado a los Andes del Sur de Chile. Es por esta razón que la comprensión de los riesgos y desastres asociados se vuelve muy importante para el quehacer científico-práctico.

Si bien el monitoreo instrumental de algunos volcanes activos en Chile comenzó con la inauguración del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) en el año 1996, no fue hasta el año 2009, posterior a la erupción del volcán Chaitén en mayo de 2008, que se creó la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), dependiente del Servicio Nacional de Geología y Minería. Así se pasó de vigilar tan solo 8 volcanes activos en el país, a 45, lo que significó un notable aumento en la capacidad de monitoreo, estudio y análisis de los volcanes.

Hoy en día la RNVV está conformada por dos unidades, la primera corresponde al OVDAS, ubicado en la ciudad de Temuco, donde se concentra la vigilancia instrumental en tiempo real de los 43 volcanes más peligrosos del país, entre las regiones de Arica y Parinacota y de Aysén. La segunda es la Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos (UGPSV), ubicada en Santiago, quienes se encargan de realizar la caracterización geológica de los volcanes activos y la confección de mapas de peligros.

Por otro lado, desde enero de 2023, entró en vigor el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), entidad que reemplazó a la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), la cual dejó de existir tras casi 49 años desde su creación. SENAPRED es el organismo técnico del Estado, establecido por la Ley 21.364, a cargo de planificar y coordinar los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o provocados por la acción humana, proporcionando a los ministerios, delegaciones, gobernaciones regionales, municipios y organismos de Protección Civil de nivel nacional, regional, provincial y comunal, modelos y planes de gestión permanente para la prevención y manejo de emergencias, desastres y catástrofes.

También es importante mencionar el rol que cumplen algunas iniciativas que buscan generar conocimiento científico en torno a la reducción del riesgo de desastres, tal es el caso de CIGIDEN (Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres), centro de excelencia FONDAP-ANID, el cual se compone de un equipo de investigadores de diferentes disciplinas: ciencias de la tierra, ingenierías, ciencias sociales, geografía, economía, diseño, arquitectura, urbanismo y comunicaciones. Desde el año 2011 genera conocimiento de excelencia para evitar que los eventos extremos de la naturaleza se transformen en desastres.

- **Cronología del desastre:**

- I. Remociones en masa co-sísmicas al terremoto de valdivia 1960 (MW9.5):**

- Riñihuazo:

Producto del terremoto de Valdivia de 1960 se generaron derrumbes de ladera causando un bloqueo en el caudal del Río San Pedro, creando un tapón de 24 metros de altura en el cual cada metro de crecida almacenaba 20 millones de metros cúbicos de agua. Dicho evento se conoce como Riñihuazo.

El terremoto gigante del 22 de mayo de 1960 resultó de la ruptura de un segmento de aproximadamente 1000 km, entre el golfo de Arauco y la Península de Taitao, a lo largo de la zona de interface entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana (Araya *et al.*, 2014). Moreno *et al.*, (2009) sugieren que este terremoto Mw 9.5 exhibió un deslizamiento cosísmico de hasta 40 m. Mediciones realizadas por Plafker y Savage (1970) indicaron un alzamiento de 5 m en la plataforma continental, y una subsidencia de 2.7 m al interior del continente. Además de producir una extensa destrucción y generar un tsunami transpacífico, este terremoto gatilló una gran cantidad de deslizamientos en diferentes localidades del centro-sur de Chile (Weischet, 1963; Wright y Mella, 1963). Los deslizamientos del río San Pedro alcanzaron notoriedad pública debido a la amenaza que representaron para la población aguas abajo (unos 60.000 habitantes). El evento consistió en tres deslizamientos: el principal removió cerca de $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimentos pobremente consolidados, el intermedio transportó $6 \times 10^6 \text{ m}^3$, y finalmente el más pequeño involucró la remoción de $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Davis y Karzulovic, 1961). Estos depósitos, que bloquearon el cauce del río, fueron denominados "Tacos" 3, 2, y 1 respectivamente (Figura 7).

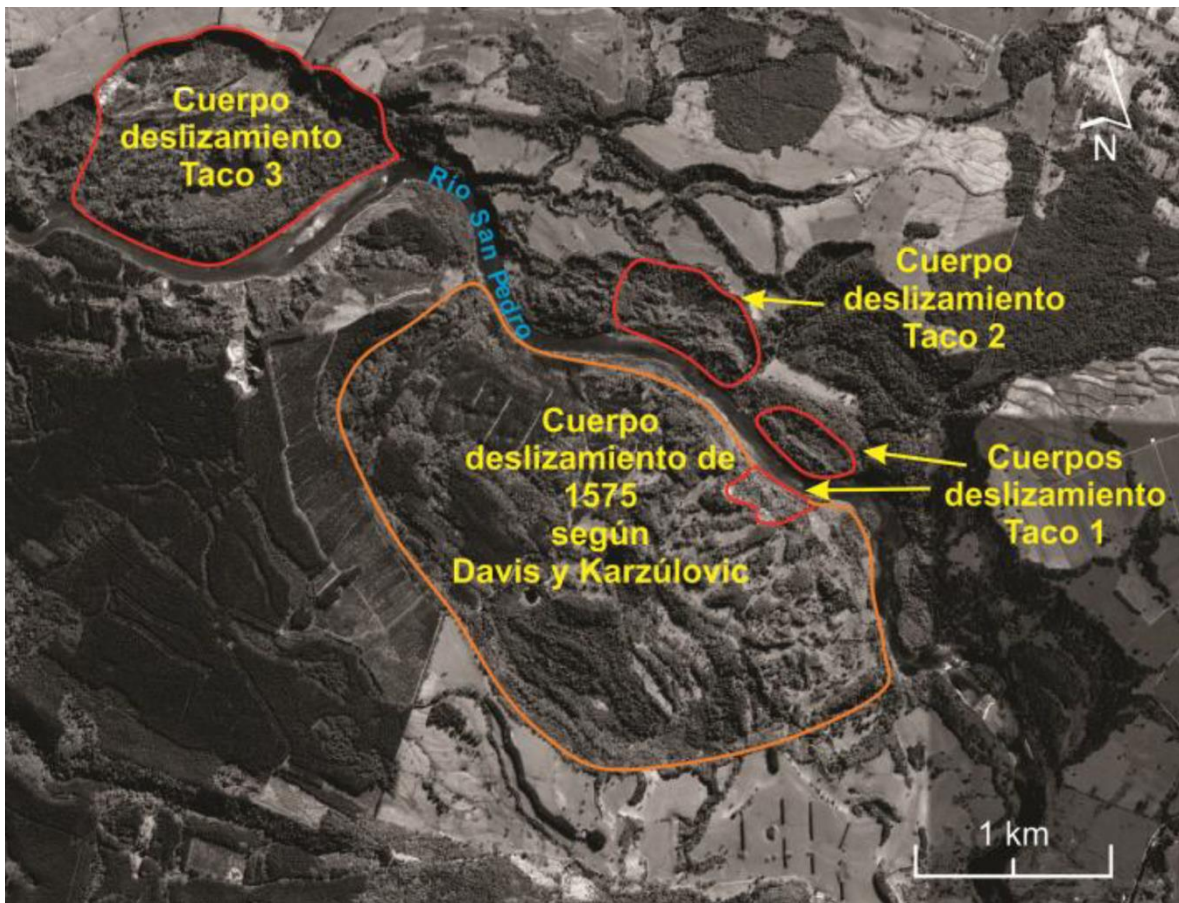


Figura 7. Cuerpos de movimientos en masa en río San Pedro. Tomado de Araya *et al.*, (2014).

Gracias a la intervención de ENDESA, las represas naturales fueron abiertas de manera controlada. A toda la situación generada se le denominó popularmente como "*El Riñihuazo*".

- Desprendimiento laderas del volcán Los Guindos:

Un gran desprendimiento de rocas se generó en la ladera NE del volcán Los Guindos (Figura 8), llegando directamente al agua en la ribera sur del lago Maihue, generando un tsunami. La ola generada afectó la ribera N del lago, inundado hasta 10 metros por sobre la cota actual del lago en algunos sectores, como las localidades de Puerto Maihue y Maqueo (Guzmán, 2015).

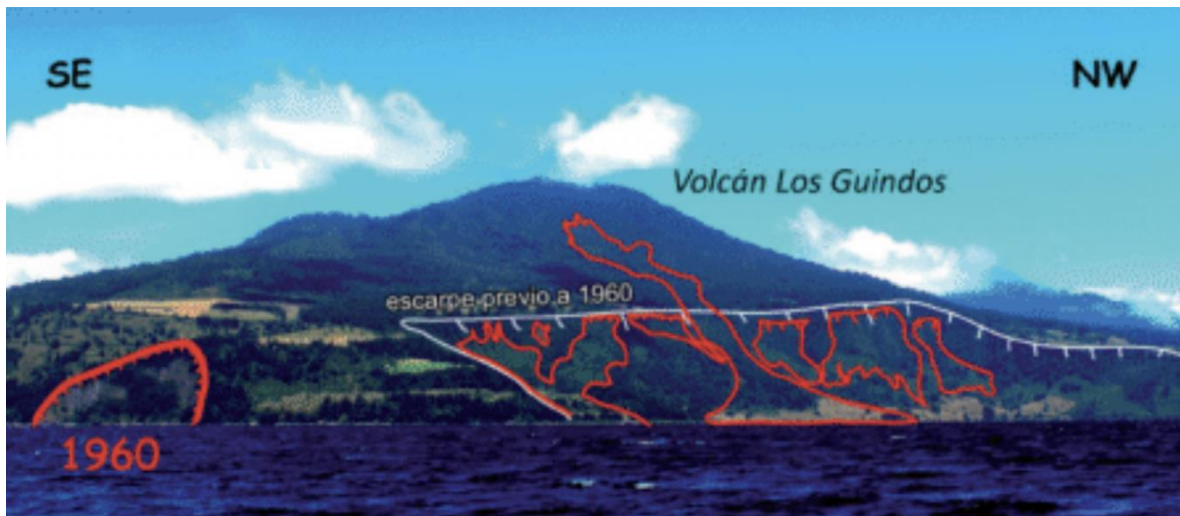


Figura 8. Izquierda: cicatriz del desprendimiento de rocas que afectó la costa N y E del lago. Maihue. Derecha: escarpe previo al terremoto de 1960 (blanco) y marcas de remociones en masa del terremoto de 1960 (rojo). Tomado de Guzmán-Marín et al., (2015).

Guzmán-Marín et al., (2015) mencionan que existe un gran potencial de riesgo de remociones en masa asociado a la traza del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui, al ser esta una zona de debilidad geotectónica de importantes dimensiones. Inherentemente este riesgo está presente en caso de terremotos de subducción, como el terremoto de Valdivia 1960, o de intra-placa, como lo fue el terremoto de Aysén en 2007.

II. Erupción volcán Villarrica 1948-49:

En abril de 1948, el volcán Villarrica evidenció un incremento progresivo de su actividad superficial, interpretado como el inicio de un nuevo ciclo eruptivo. Desde los centros poblados cercanos, particularmente Pucón, se observó incandescencia persistente asociada a la emisión de material magmático desde el cráter. Hacia octubre, la actividad estromboliana se intensificó, registrándose proyecciones balísticas de lava que alcanzaron alturas de hasta 300 m sobre el borde del cráter.

El 18 de octubre, a las 06:25 horas, se produjo la fase paroxismal del evento eruptivo. La interacción entre los productos eruptivos y la cobertura nival generó un derretimiento rápido y masivo, dando origen a múltiples lahares que se encauzaron por las principales redes de drenaje del edificio volcánico. En el flanco norte, los flujos descendieron por las cuencas de los ríos Voipir, Molco, Loncotraro, Correntoso y Turbio, provocando la destrucción de bosques, infraestructura vial y asentamientos humanos hasta su

desembocadura en el lago Villarrica. En el flanco sur, un lahar de gran magnitud se dirigió hacia Coñaripe, alcanzando el lago Calafquén.

Este evento tuvo impactos geomorfológicos y socioeconómicos significativos en la región. Los registros históricos reportan al menos 50 víctimas fatales y más de 100 personas heridas, constituyéndose en uno de los desastres volcánicos más relevantes del siglo XX en el sur de Chile.



Figura 9. Erupción del volcán Villarrica (1 de enero 1949), observada desde la ciudad de Villarrica. La columna eruptiva alcanzó los 6 km de altura (cortesía del Diario Austral, Temuco). Tomada de Lara (2004).



Figura 10. Vista del volcán Villarica a finales de octubre de 1948, que muestra cómo quedó la cumbre del cráter en las primeras fases de la erupción. Tomado de Casertano (1964).

III. Erupción volcán Villarica 1964:

Durante este evento el volcán Villarica emitió una colada de lava que dio origen a cinco lahares. Cuatro de ellos bajaron por los esteros entre Villarica y Pucón rellenoando los cauces tradicionales que desaguan hacia el lago Villarica, destruyendo los puentes y aumentando peligrosamente el nivel del lago de tal manera que incluso anegó los campos circundantes. El quinto lahar descendió por el flanco sur del volcán destruyendo casi la totalidad de la localidad de Coñaripe (Figura 11).



Figura 11. La cumbre eruptiva del volcán Villarrica durante la fase eruptiva del 31 de enero de 1949. Tomado de Casertano (1964).

IV. Tsunami lago Cabrera 1965:

El 19 de febrero de 1965 se desprendió una parte del glaciar de la ladera suroeste del volcán Yate, en donde gran cantidad de material llegó hasta el lago Cabrera generando un tsunami cuya ola alcanzó más de 25 metros de altura (Figura 12). Este evento ocasionó la muerte de 27 personas que vivían a orillas del lago.

El evento histórico de remoción en masa más catastrófico en el volcán Yate ocurrió en 1965 cuando una masa de roca y hielo se desprendió del flanco suroeste de la cumbre del volcán. El material desprendido fue transportado hacia el sur por el valle confinado El Derrumbe, y su comportamiento de escorrentía y superelevación es consistente con una rápida transformación en un flujo de escombros saturado, que incorporó escombros y arrastró vegetación durante su recorrido (Watt et al., 2009).

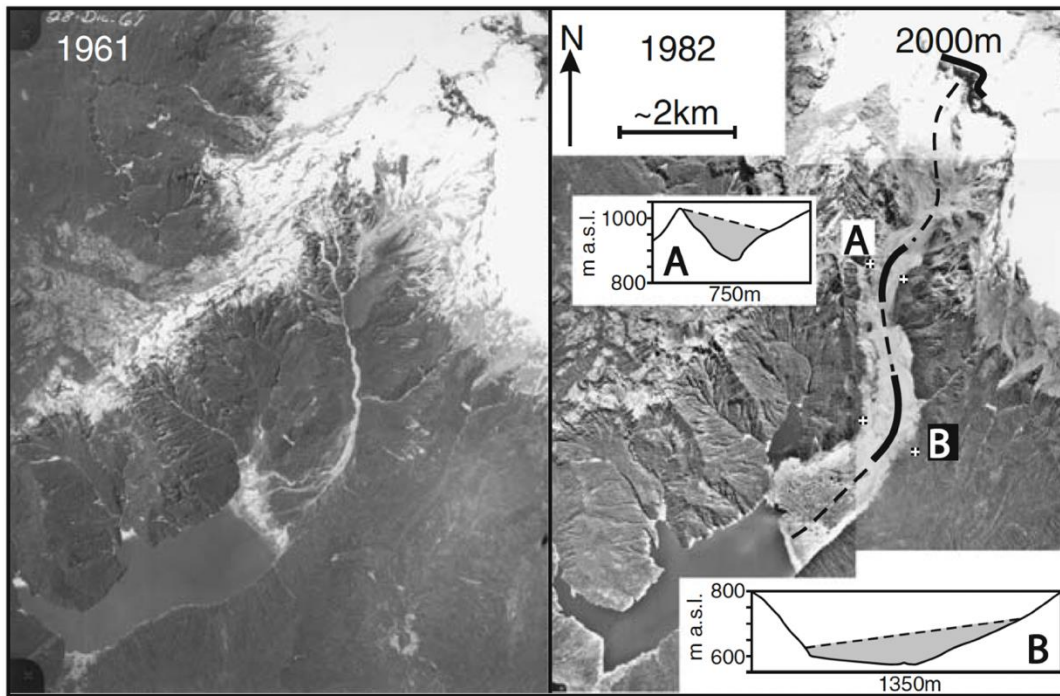


Figura 12. Fotografías aéreas de la región de deslizamiento de tierra y flujo de escombros de 1965 al SO del volcán Yate tomadas en 1961 y 1982. En la fotografía de 1982 se muestran las ubicaciones de las curvas en el camino utilizado para los cálculos de velocidad del flujo y la línea central del flujo. Recuadro: las secciones transversales topográficas (escala vertical exagerada) muestran la altura de las líneas de corte de la vegetación utilizadas para estimar la peralte.

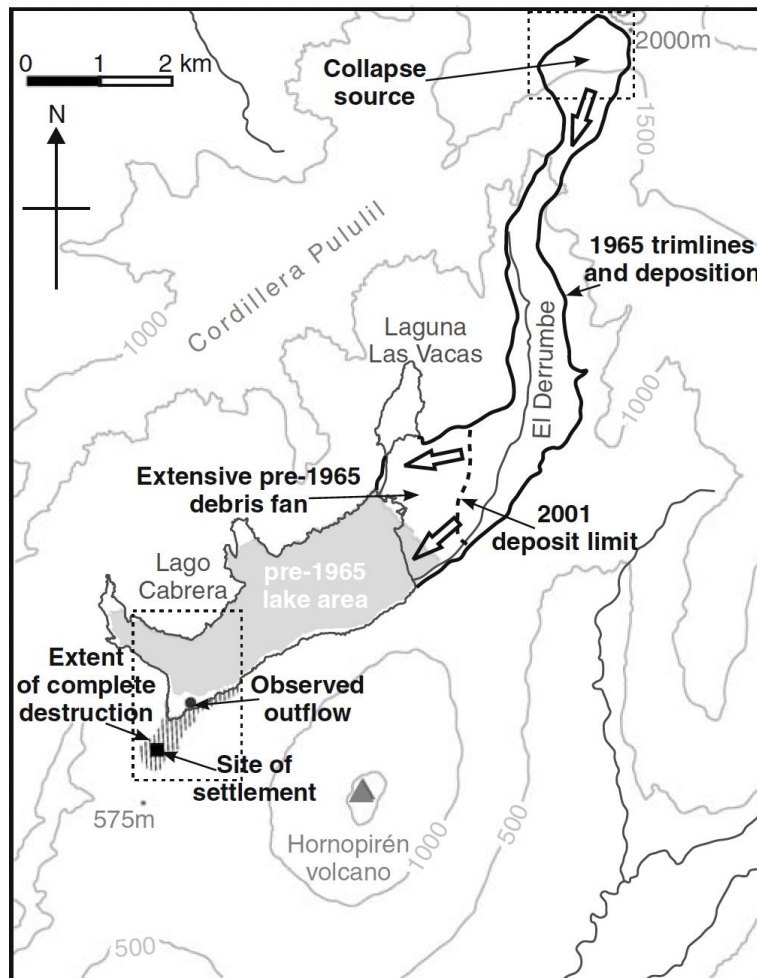


Figura 13. Mapa del sector SO del volcán Yate y del Lago Cabrera que muestra la extensión de los principales flujos de escombros históricos, el cambio en la costa del Lago Cabrera luego del deslizamiento de tierra, el flujo de escombros y el tsunami de 1965 y el área principal de destrucción debido al tsunami. Los cuadros discontinuos muestran la posición del detalle de la fotografía aérea en las Figs. 4c y 6.

Parte del flujo de escombros ingresó al Lago Cabrera, generando una ola, cuyos efectos aún son claramente visibles alrededor de la orilla del lago. En el trabajo de Watt et al., (2009) utilizaron observaciones de campo, entrevistas a testigos e imágenes aéreas de 1960 y 1982 para analizar este evento. Un flujo de escombros más pequeño de 2001 siguió un curso similar, cubriendo parcialmente los depósitos de 1965. No hay evidencia que sugiera que llegó al Lago Cabrera, aunque mató a 50 cabezas de ganado en el valle bajo de El Derrumbe. El depósito sin vegetación de 2001 cubre aproximadamente un tercio del depósito subaéreo de 1965, principalmente en el lado sur del valle inferior de El Derrumbe. Las observaciones terrestres y las fotografías aéreas de 1982 sugieren que

el flujo de escombros de 2001 no se originó en la misma parte de la región de la cumbre que la remoción en masa de 1965.

Varios volcanes del sur de Chile se encuentran en la LOFZ, y numerosos volcanes a nivel mundial están situados en fallas de rumbo. Muchos de estos volcanes pueden ser susceptibles al colapso de sus edificios en orientaciones controladas por sistemas de fallas.

Aunque la frecuencia de remociones en masa en edificios volcánicos puede haber aumentado inmediatamente después de la desglaciación del Pleistoceno tardío debido a procesos asociados con el rápido cambio climático (cf. Capra 2006), el peligro de eventos similares aún está presente. No podemos estimar las tasas de colapso de edificios a largo plazo, pero sugerimos que el derretimiento de los glaciares de las cumbres y las precipitaciones a mayor altitud, como consecuencia del cambio climático en curso, pueden aumentar la frecuencia de grandes deslizamientos de tierra en estos entornos, particularmente en volcanes donde el sustrato se daña mecánicamente. debilitados, alterados hidrotermalmente o poco consolidados. Watt et al., (2009) mencionan que el reconocimiento de los depósitos de estos eventos y la conciencia del peligro para los asentamientos en áreas vulnerables son importantes para mitigar futuros desastres, particularmente cuando los flujos de escombros pueden interactuar con los cuerpos de agua.

V. Erupción volcán Lonquimay 1988-89:

Durante la erupción de 1988-89, la emisión de productos con alto contenido en flúor tuvo efectos catastróficos para los seres humanos, animales y vegetación. Se alteró el curso hídrico y la composición del agua de los ríos Cautín y Naranjo; generando una intoxicación letal en el ganado de la zona. Los menores de edad fueron evacuados a Temuco durante el invierno de 1989 y la población adulta experimentó conjuntivitis irritativas, afecciones en las vías respiratorias, problemas digestivos y alteraciones en el sistema nervioso.

- **Impacto de la erupción en el medio ambiente**

Dentro de un radio de unos 6 km en torno al cono Navidad, y dependiendo de la fuerza y dirección de los vientos, la atmósfera presentaba concentraciones variables de polvo volcánico en suspensión y gases (HCl y SO₂), estos últimos percibidos fuertemente en las inmediaciones del cono y la colada.

Los sectores con mayor concentración de partículas en suspensión corresponderían al curso superior del río Cautín, Cuesta Las Raíces, valle del río Naranjo o Portales, Lonquimay y, ocasionalmente, Malalcahuello y Loica. Las consecuencias detectadas en la población fueron irritaciones oculares y respiratorias, lo cual obligó a los habitantes a utilizar mascarillas y a protegerse los ojos, y erosiones en la piel.

Los mismos sectores que sufrieron contaminación atmosférica fueron los más afectados por la caída de cenizas. Fuera de los lugares mencionados, también se registró la caída ocasional de ellas en Curacautín, Sierra Nevada, Chilpaco, Troya, Icalma y Liucura. El área poblada con la mayor acumulación de cenizas correspondió a la cuenca del río Naranjo o Portales (Figura 14).

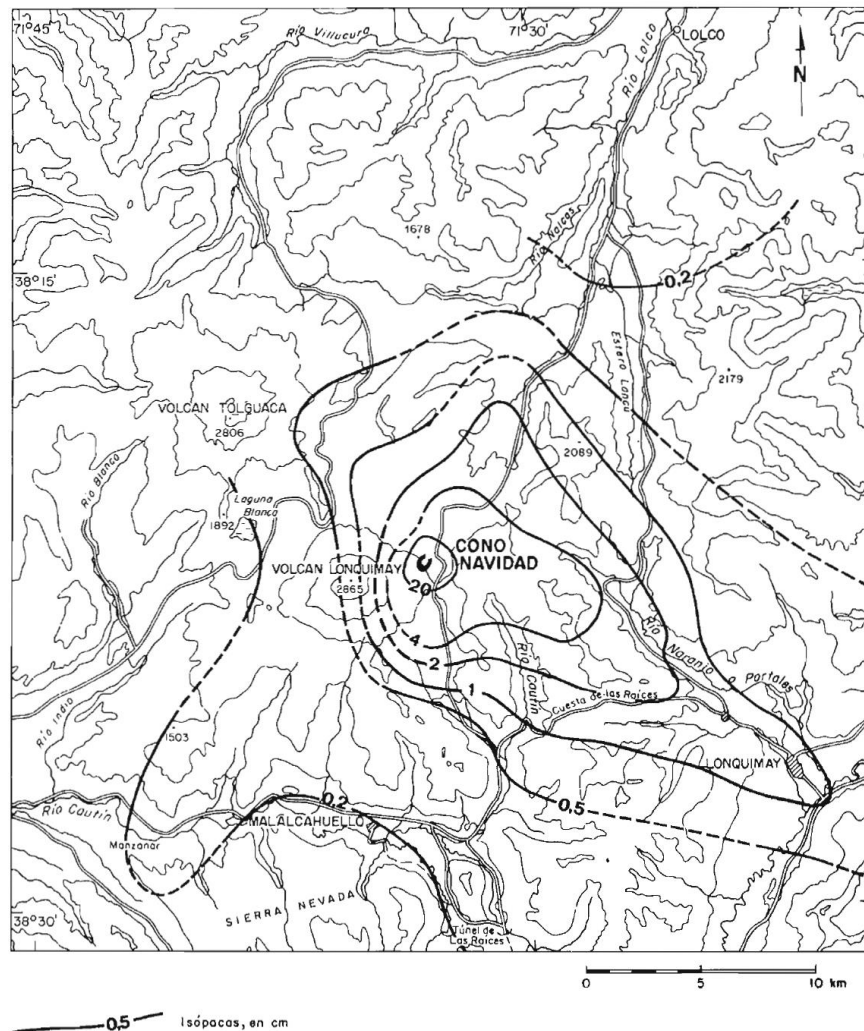


Figura 14. Isópacas preliminares, varadas en 67 datos de terreno (3 de Febrero de 1989). mado de Moreno y Gardeweg (1989).

La vegetación de hojas anchas: ñirres, coigües, coligües, pastos tipo trébol y arbustos oleaginosos, fue la más afectada pues la retención de cenizas en las hojas provocó una mayor absorción de la radiación solar, con la consecuente deshidratación de la planta. En Lonquimay se detectó la muerte de aves de corral y de ganado vacuno por haber ingerido pastos con ceniza, la cual produjo erosión y obstrucción del tracto digestivo.

- Destrucción por avance de la lava

Afortunadamente, la mayor parte del área cubierta por la colada estaba desprovisto de vegetación y correspondía al campo de lava y piroclastos denominado 'escoriales de Lonquimay' formado durante el ciclo eruptivo 1987-1989 (Fig. 3). No obstante, al 5 de Abril, el avance de la lava a lo largo del valle del río Loica, había destruido el camino carretero Malalcahuello-Lolco, en un tramo de 3,5 km y obstruido 60 m en el frente, a 2,5 km del Fundo Laico. De igual modo provocó el incendio de aproximadamente 5 ha, y la destrucción de otras 30 ha

de arbustos y bosques en el margen occidental del valle, incluyendo la desaparición de un pequeño lago. Finalmente causó la destrucción de 60 ha del mallín de Loica, el cual comprendía araucarias, coigües y pastizales.

- Contaminación de aguas

Durante la erupción del volcán Lonquimay, las aguas superficiales experimentaron alteraciones físicas, químicas y biológicas producto de la caída de ceniza y el avance de lava. Los ríos Cautín y Naranjo (o Portales) presentaron aumento de turbidez y leves incrementos en cloruros y sulfatos. En el valle del río Laico, la lava provocó contaminación química directa (con aporte de HCl, F y SO₂) reduciendo el pH del agua de 7,5 a 6,0 y elevando su temperatura. Además, se generó contaminación bioquímica por la expulsión de aguas con materia orgánica en descomposición desde el mallín de Lolco, afectando la vegetación y fauna local.

Pese a la magnitud moderada de la erupción, el impacto ambiental fue significativo. La caída de ceniza y la contaminación atmosférica afectaron la salud de la población, generaron pérdidas en la ganadería (disminución de peso y muerte de vacunos) y causaron daños en la vegetación por lluvia ácida y avance de lava. Asimismo, se registraron aumentos de turbidez, cloruros, sulfatos y flúor en cuerpos de agua, junto con contaminación biológica en el valle del río Lolco.

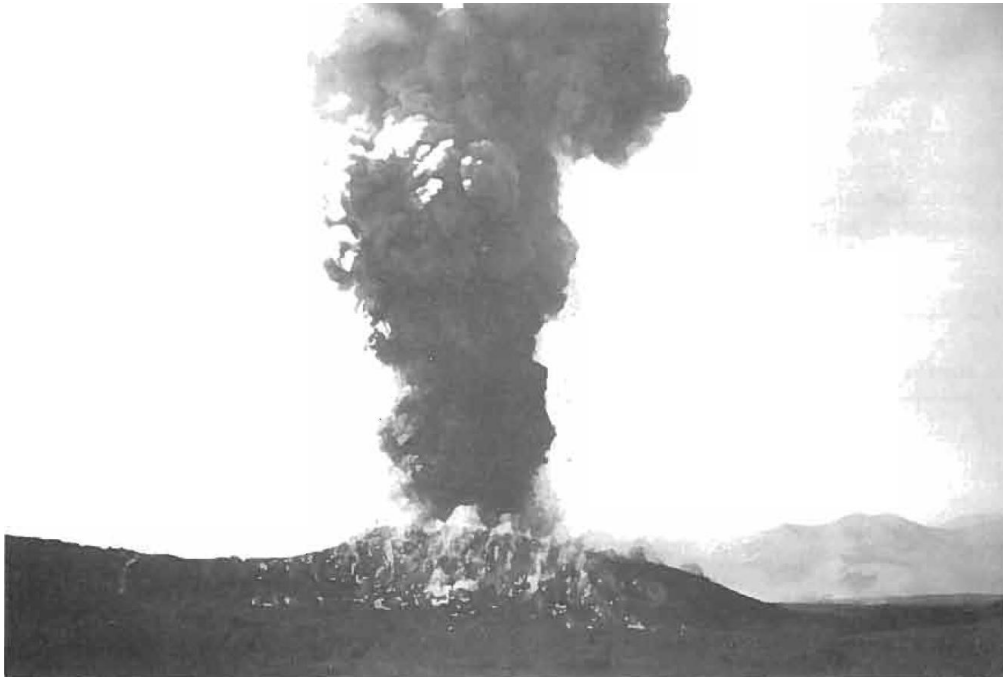


Figura. 15. Etapa inicial de construcción del cono Navidad (1 de Enero de 1989). Su altura alcanzaba a 100 m sobre la base y un intenso bombardeo se puede apreciar en sus flancos. Vista hacia el noroeste desde el portezuelo Lolco, a una distancia de 1.300 m. Tomado de Moreno y Gardeweg (1989).

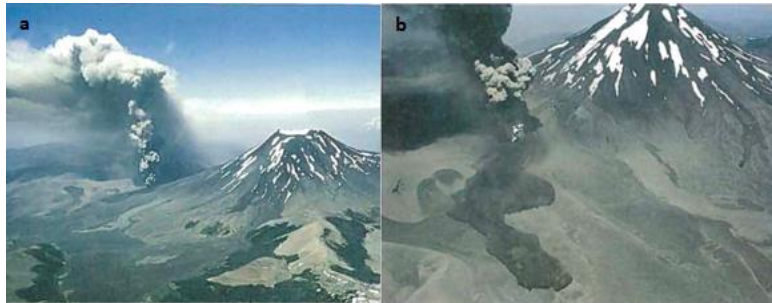


Figura 16. a) Vista hacia el sureste del Complejo Volcánico Lonquimay y el formado cono Navidad en su pie oriental. Se observa la columna de emisión, la pluma dirigida al sureste y, al fondo, la contaminación ambiental que afectó la zona. (Foto del 29 de Diciembre de 1988.) Se distinguen, también, coladas y piroclastos de erupciones anteriores en el cono principal y hacia la izquierda, el cordón fisural oriental b) La colada de lava negra y el incipiente cono Navidad, cuatro días después del inicio de la erupción (29 de Diciembre de 1988). Tomado de Moreno y Gardeweg (1989).

VI. Flujo de detritos de caleta Buill 2002:

El viernes 3 de mayo, alrededor de las 20:30 hrs, se generó un flujo de detritos a 4 km al sur de caleta Buill, comuna de Chaitén. El flujo arrasó con dos viviendas, sepultando

a 12 personas. Este desastre, por su magnitud y consecuencias, produjo gran alarma pública en la zona y fue titular de noticias a nivel nacional (ver anexos). En las labores de rescate participaron, además de los familiares de las víctimas, personal del Ejército de Chile y del GOPE de Carabineros de Chile. La tragedia motivó a las autoridades regionales y comunales ordenar la evacuación de 6 viviendas y la evaluación del riesgo que corrían otras viviendas en la zona.

Una semana después del desastre, geólogos de SERNAGEOMIN visitaron la zona afectada para estimar las dimensiones del fenómeno y determinar las causas que lo generaron. Fernández y Arenas (2002) mencionan que el flujo de detritos del 3 de mayo se generó por el deslizamiento de parte de un depósito de sedimentos no consolidados de origen glacial que se encuentra adosado en las cabeceras de la quebrada afectada. Dicho deslizamiento se desencadenó por el incremento de la intensidad de las precipitaciones de aguas lluvia previo al desastre, durante un lapso determinado, aunque próximo al mismo. Por lo tanto, el fenómeno se produjo tanto por factores geológicos y geomorfológicos, como por factores meteorológicos.

El área afectada por el flujo abarca una superficie aproximada de 0.6 km², incluyendo además de la zona del deslizamiento y los depósitos del flujo, los bosques arrasados y laderas erosionadas por el paso de la ola, que en algunos sectores alcanzó entre 40 y 50 m de altura. El volumen total aproximado del material depositado es de 5,5-6,0 millones de m³ (10-14 millones de toneladas). Se estimó para la ola del flujo una velocidad cercana a 50 km/h antes del ápice y un caudal del orden de 25-30 mil m³/s (Fernández y Arenas, 2002).



Figura 17. Fotografía del abanico aluvial producto del flujo de detritos principal. Tomada de Fernández y Arenas (2002).



Figura 18. Vista de depósitos de flujos secundarios en límite sur del flujo principal. Estos ocupan el antiguo canal natural. Tomado de Fernández y Arenas (2002).

VII. **Erupción del volcán Chaitén 2008:**

El volcán Chaitén ha producido al menos cinco erupciones explosivas en el Holoceno (10.000 años-actualidad), lo que sugiere que corresponde a uno de los volcanes más activos, en términos de erupciones explosivas, del extremo sur de la Zona Volcánica Sur (ZVS).

- Conocimiento previo a la erupción del volcán Chaitén

El conocimiento previo sobre la historia eruptiva del volcán Chaitén era precario antes de la última erupción y la noción existente a la fecha sugería que la última actividad eruptiva relevante había ocurrido hace aprox. 9 ka (Naranjo y Stern, 2004). No existían indicios de actividad alguna en los últimos 5 ka, que corresponde al fechado de sitios arqueológicos cercanos con material lítico de obsidiana proveniente de este volcán (Stern et al., 2002). Más tarde, estudios de detalle han confirmado la ocurrencia de al menos 4 eventos relevantes en el Holoceno, dos de ellos correspondientes a erupciones plinianas (Newhall y Self, 1982) ocurridas entre aprox. 9,9 y 4,9 ka antes del presente y que generaron, además, corrientes piroclásticas en los valles adyacentes (Amigo et al. 2013; Watt et al. 2013). Particularmente interesante es un evento previo a la erupción de 2008 y de similar magnitud que habría ocurrido unos tres siglos antes del presente (Lara et al., 2013). En este último evento se habrían generado efectos similares a los observados en la erupción del año 2008-2009, incluida la generación de lahares o aluviones volcánicos que excedió el cauce activo del río Blanco y cubrió gran parte de la localidad (Pierson et al., 2013).

- Erupción del volcán Chaitén 2008-2009

El volcán Chaitén entró en erupción inesperadamente el 2 de mayo de 2008 generando una de las mayores erupciones de los últimos 30 años a nivel global. La erupción consistió en una fase explosiva con emisión de ceniza (Fig. X a) que duró alrededor de 2 semanas y generó un depósito de aproximadamente 1 km³ de material piroclástico (Major y Lara, 2013). La removilización de este material producto de las intensas precipitaciones causó aluviones volcánicos e inundaciones en los valles adyacentes dañando severamente la ciudad de Chaitén hacia el 12 de mayo, para entonces ya evacuada. Esta fase fue seguida por una fase efusiva de aproximadamente 2 años de duración, en la cual se formó un domo riolítico de aproximadamente 0,8 km³, muy similar al existente antes del inicio de la erupción y construido hace alrededor de 5 ka. Esta segunda etapa fue acompañada también de una columna eruptiva de menor altura que dispersaba intermitentemente ceniza (Lara y Calderón, 2015). Entre junio de 2008

y mediados de febrero de 2009, los colapsos del domo de lava produjeron desprendimientos de rocas y PDC (corrientes de densidad piroclástica) menores dentro de la caldera y dos PDC principales que ingresaron al valle del río Chaitén a través de una ruptura en la pared sur de la caldera (Major et al., 2013). Después de un colapso sustancial del domo el 19 de febrero de 2009, que produjo el mayor PDC en el valle del río Chaitén (Fig. Xb), la erupción entró en una nueva fase de crecimiento del domo que duró hasta finales de 2009 o posiblemente hasta el 2010 (Pallister et al., 2013).

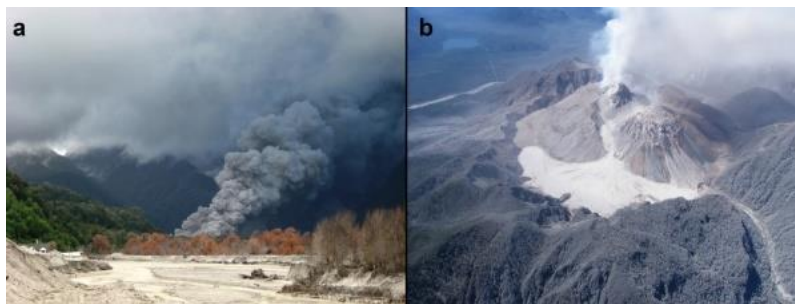


Figura 19. Imágenes de las corrientes de densidad piroclástica del 19 de febrero de 2009 y extensión del depósito en la caldera y en el valle del río Chaitén. **a)** PDC desemboca en el valle del río Chaitén tras el colapso del domo de lava. **b)** Vista aérea del depósito de PDC en el sector oeste de la caldera (24 febrero, 2009) (Major y Lara, 2013).

VIII. **Aluvión Villa Santa Lucía 2017:**

El 16 de diciembre de 2017 se desencadenó un deslizamiento en la cabecera de la cuenca del río Burritos que produjo flujos de escombros y lodo que inundaron Villa Santa Lucía, destruyendo la mitad del casco urbano de la localidad.

Anteriormente, un informe técnico de SERNAGEOMIN (2008) indicó que los alrededores de Villa Santa Lucía presentaban un riesgo moderado y alto de verse afectados por eventos de remociones en masa, destacando los posibles flujos de escombros en el fondo de los valles y en los canales activos. Es importante mencionar que en dicho informe técnico se informó que era necesario realizar estudios detallados en los alrededores de Villa Santa Lucía, con énfasis en los datos pluviométricos disponibles en los días previos y en el día de los eventos, esto con el objetivo de establecer correlaciones que permitan determinar los umbrales críticos de precipitaciones que podrían detonar eventos similares. Esto hubiese ayudado a definir alertas preventivas.

Somos-Valenzuela (2020) mencionan que dada la complejidad y el aumento potencial de futuras ocurrencias de eventos extremos que pueden desencadenar deslizamientos de tierra, por lo tanto, sugieren que los estudios de peligro deben tener en cuenta las

condiciones estructurales presentes en el área de influencia de los flujos de lodo. Las características del suelo deben incluirse porque pueden ser un factor crucial que amplifique los impactos de los eventos locales desencadenados por los eventos hidrometeorológicos. Tal fue el caso de Villa Santa Lucía, donde el agua necesaria para fluidizar la mezcla de flujo de lodo estaba en el suelo en un sistema volátil que era fácil de movilizar.

Diversos estudios se han realizado en la zona con la finalidad de determinar y caracterizar los posibles peligros geológicos que puedan afectar a Villa Santa Lucía. El año 2008, Sernageomin expone que los alrededores de la localidad de Villa Santa Lucía presentan un alto y moderado peligro de ser afectados por procesos de remociones en masa (Figura 20), destacando posibles flujos de detritos en el fondo de valles y cauces activos, con las planicies y valles fluviales como las zonas con mayor susceptibilidad de ser afectadas por estos eventos.

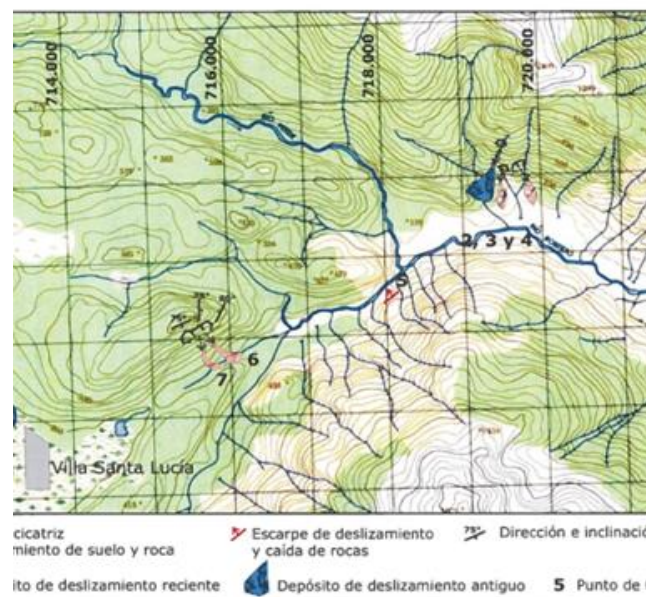


Figura 20. Esquema de remociones en masa observadas en el camino Villa Santa Lucía-Lago Yelcho. Tomado de SERNAGEOMIN (2008).

Por otro lado, las laderas empinadas que se encuentran en los cordones montañosos son más frecuentes a ser afectadas por remociones en masa (Sernageomin, 2008). Dos eventos de este estilo ocurridos el año 2011 se describen en otro informe entregado por Sernageomin. Las remociones en masa tienen lugar a 4 [km] al NE de Villa Santa Lucía, camino a Lago Yelcho, y se encuentran dentro de las zonas definidas con alto peligro de

ser afectadas por este tipo de eventos (Figura 20). En esa ocasión ocurrieron dos deslizamientos de suelo saturado y roca, siendo los factores condicionantes el fracturamiento de la roca granítica condicionada por las laderas escarpadas, y las intensas precipitaciones funcionaron como agente desencadenante (Sernageomin, 2011).

Tabla 2. Principales desastres ocurridos desde el siglo XX a la actualidad en los Andes del Sur.

Tipo de desastre	Fecha	Lugar	Muertos	Heridos	Daños materiales
Erupción volcán Carrán	Activo durante todo el año 1907	Región de Los Ríos	No	No	Lahares por el valle del Nilahue. Importantes daños en los campos y parcelas de la zona aledaña al valle
Erupción volcán Calbuco	06/01/1929	Puerto Montt			Se produjo un lahar que dañó los sembrados al derretirse la nieve del glaciar debido a una colada de lava; se destruyeron algunas casas y mató algunas cabezas de ganado
Erupción volcán Villarrica	04/10/1948-49	Villarrica, Calafquén	30 personas debido a los lahares	Algunos heridos	Los lahares destruyeron el Refugio Andino ubicado a unos 1.300 m de altura, en el sector N del volcán. Los lahares desaguaron hacia los lagos Villarrica y Calafquén.
Erupción del volcán Carrán	27/07/1955	Región de Los Ríos			Nacimiento de un nuevo volcán (maar Riñinahue). Lahares por el valle del Nilahue que causaron daños en los campos aledaños.

					200 familias perdieron total o parcialmente sus hogares. Tierras de cultivo inutilizadas y murió parte del ganado.
Terremoto y Tsunami	21/05/1960	Concepción/ Sur de Chile	300 ahogados en Concepción el 21 de mayo.	Numeros heridos	Grandes pérdidas económicas en las ciudades y pueblos del sur de Chile. Ruina de Puerto Saavedra, Tucapel y Nueva Imperial a causa del tsunami. Por su parte, la pómez emitida por el vn. Caulle cubrió vastas extensiones del sur hacia el este. Importantes cambios geomorfológicos en la costa que inutilizaron las tierras de cultivo (zonas inundadas).
Terremoto Tsunami Derrumbes Alzamiento y hundimientos costeros Erupción del Cordón Caulle.	22/05/1960	Valdivia/ Sur de Chile	Murieron más de 6.000 personas por el tsunami del 22 de mayo en toda la costa sur.		
Erupción del volcán Calbuco	25/01/1961	Sur de Chile			Erupción pliniana que trastornó la vida de los habitantes de Puerto Montt, Puerto Varas, Frutillar y alrededores a causa de los lahares y a la emisión de pómez.
Erupción del volcán Villarrica	02/03/1964	Sur de Chile	27 muertos en Coñaripe	Algunos heridos	Erupción estromboliana del volcán Villarrica que generó lahares por el Chesque hacia el lago Calafquén y dañó los campos. Uno de los lahares

					de 1964 se desvió y destruyó el pueblo maderero de Coñaripe
Tsunami Lago Cabrera	19/02/1965	Lago Cabrera, Región de Los Lagos	Muerte de 27 personas que vivían a orillas del lago Cabrera		Se desprendió una parte del glaciar de la ladera suroeste del volcán Yate, en donde gran cantidad de material llegó hasta el lago Cabrera generando un tsunami cuya ola alcanzó más de 25 metros de altura.
Erupción del volcán Villarrica	29/10/1971	Sur de Chile	Más de 30 personas	Algunos heridos	Erupción estromboliana que generó lahares hacia el lago Villarrica. Importantes pérdidas humanas y en infraestructuras
Erupción volcán Mirador-Carrán y sismos locales	14/04/1979	Sur de Chile	No		Erupción estromboliana-vulcaniana. Emisión de importantes cantidades de ceniza.
Erupción volcán Lonquimay Sismos locales	1988-89	Lonquimay, sur de Chile	No hubo muertos a causa de la erupción	Daños en la salud de las personas debido a la ceniza y a los gases	Erupción estromboliana que emitió abundante ceniza durante un año. Daños en la salud de la población. Evacuación de los niños durante algunos meses. Muerte de ganado a causa de la ingesta de pasto con ceniza. Emisiones de flúo

Aluvión de Buill 2002	2002	Sector Buill en península de Huequi, comuna de Chaitén. Región de Los Lagos.			
Erupción volcán Chaitén 2008		Comuna de Chaitén, Región de Los Lagos.			
Erupción Cordón Caulle 2011	04/06/2011				
Erupción volcán Villarrica 2015	03/03/2015	Pucón, Villarrica			Evento de corta duración, lahares acotados que no provocaron grandes daños. Evacuaciones preventivas de casi 3 mil personas, hubo destrucción de la red vial y cierre de las rutas turísticas al volcán.
Erupción volcán Calbuco 2015	22/04/2015				
Aluvión de Villa Santa Lucía	16/12/2017	Localidad Villa Santa Lucía, comuna de Chaitén. Región de Los Lagos.			Flujos de escombros y lodo que inundaron Villa Santa Lucía, destruyendo la mitad del casco urbano de la localidad.

2. Singularidades Laboratorio temático 2: Cambio Global, interacción bosque, suelo y recursos hídricos

El territorio comprendido por el Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS) constituye un sistema de montaña de alta singularidad ambiental, modelado por la interacción prolongada entre procesos geológicos, climáticos y biogeográficos que han operado desde la fragmentación de Gondwana hasta la actualidad. En este tramo de la cordillera de los Andes, la constante actividad volcánica, el historial glacial marcado por avances y retrocesos sucesivos, y la elevada heterogeneidad topográfica han condicionado la configuración de paisajes complejos, donde coexisten bosques templados de alta diversidad, suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas y una marcada variabilidad ambiental a escala espacial local. Este entramado de procesos ha dado origen a un territorio que concentra singularidades ecológicas de relevancia internacional, tanto por su estado de conservación como por su valor para el estudio de la resiliencia ecosistémica frente a perturbaciones naturales y antrópicas.

Durante el Último Máximo Glacial, aproximadamente dos tercios de los bosques andinos actualmente presentes en la macrozona sur se encontraban cubiertos por hielo. El retroceso posterior de los glaciares desencadenó una profunda reconfiguración del paisaje, habilitando corredores de recolonización vegetal y promoviendo la diversificación de comunidades boscosas dominadas por coníferas y angiospermas de larga historia evolutiva. Evidencia paleoecológica y dendrocronológica indica que gran parte de las especies arbóreas características del LNAS, incluyendo *Araucaria araucana*, *Fitzroya cupressoides* y diversas especies del género *Nothofagus*, descienden de refugios glaciares que mantuvieron poblaciones relictas durante las fases frías del Pleistoceno. Este legado histórico explica, en buena medida, los patrones actuales de distribución del bosque, su estructura genética y su sensibilidad frente a cambios climáticos y disturbios. En la actualidad, los bosques templados de latitudes medias constituyen la cobertura dominante del LNAS y conforman uno de los relictos mejor conservados del bioma templado húmedo del hemisferio sur. Su distribución y funcionamiento están estrechamente vinculados a la presencia de suelos derivados de cenizas volcánicas, mayoritariamente clasificados como Andisoles, los cuales presentan altas capacidades de retención hídrica, estabilización de carbono y regulación de la disponibilidad de nutrientes. La combinación entre volcanismo activo, elevada humedad atmosférica y procesos de sucesión post-disturbio ha dado origen a gradientes edáficos y ecológicos que determinan la estructura, composición y dinámica del bosque, así como su capacidad

de respuesta frente a perturbaciones tales como incendios, erupciones volcánicas o cambios en el uso del suelo.

Las singularidades asociadas a los bosques templados y a los suelos de origen volcánico sostienen la estructura funcional del Laboratorio Temático 2 (LT2), orientado al estudio de las interacciones bosque–suelo en un contexto de cambio global. En este marco, las Reservas de la Biósfera Araucarias y Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes constituyen espacios particularmente relevantes, al concentrar gradientes ambientales representativos del LNAS, altos niveles de integridad ecológica y una presencia significativa de elementos bioculturales asociados a la identidad territorial. Su condición de sitios UNESCO refuerza su valor estratégico para el desarrollo de investigación aplicada, al promover enfoques de gobernanza, participación local y manejo adaptativo coherentes con los objetivos del laboratorio natural.

Sobre esta base conceptual y territorial, el presente capítulo cumple un rol introductorio y articulador respecto de los análisis desarrollados posteriormente en los capítulos dedicados a los gradientes de fertilidad y a los bosques templados. En lugar de profundizar en procesos específicos, se presenta aquí una caracterización sintética de los atributos territoriales del LNAS, entendidos como variables de referencia que permiten contextualizar e interpretar dichos gradientes. Estas variables describen la distribución, estructura, valor de conservación y estado del bosque nativo, así como las funcionalidades de los suelos volcánicos, proporcionando el marco empírico necesario para el análisis integrado de las singularidades del LT2.

2.1 Montaña como Torre de Agua

La Cordillera de los Andes desempeña un papel crucial como "torre de agua" en Chile, especialmente en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Esta cadena montañosa alberga las principales reservas de agua dulce del país, principalmente en forma de glaciares cordilleranos, que, a través de su derretimiento, alimentan tanto los cauces superficiales como los acuíferos subterráneos. Estos recursos hídricos son esenciales para el sustento de los ecosistemas y las actividades humanas en las zonas bajas, donde el agua desemboca en depresiones intermedias y finalmente en el océano (Muñoz et al., 2007).

- **La Cuenca como Unidad Funcional de Gestión:**

En términos físicos, una cuenca hidrográfica se define como un área delimitada topográficamente donde todas las aguas superficiales y subterráneas convergen hacia

un mismo punto de salida, como un río, lago o mar. Este concepto no solo es relevante desde una perspectiva hidrológica, sino que también debe considerarse como una unidad funcional de gestión, ya que integra aspectos ecológicos, sociales y económicos (Hein et al., 2021). La gestión integrada de cuencas es fundamental para abordar los desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad del agua, especialmente en un contexto de cambio climático y creciente presión antropogénica.

El Laboratorio Natural Andes del Sur abarca 11 cuencas hidrográficas, desde el sur de la cuenca del Río Bío Bío hasta el norte de la cuenca del Río Palena (Figura 21). Entre estas, destacan las cuencas de los ríos Puelo, Yelcho y las cuencas costeras entre estos ríos, que presentan una singularidad única: sus ríos nacen en las altas montañas y desembocan directamente en el mar. Esta característica convierte a estas cuencas en áreas de especial interés para el estudio de la interacción entre los ecosistemas de montaña y marinos, tanto desde una perspectiva ecológica como socioeconómica (Zemlak et al., 2008; Placencia y Contreras, 2018; Yévenes et al., 2020).

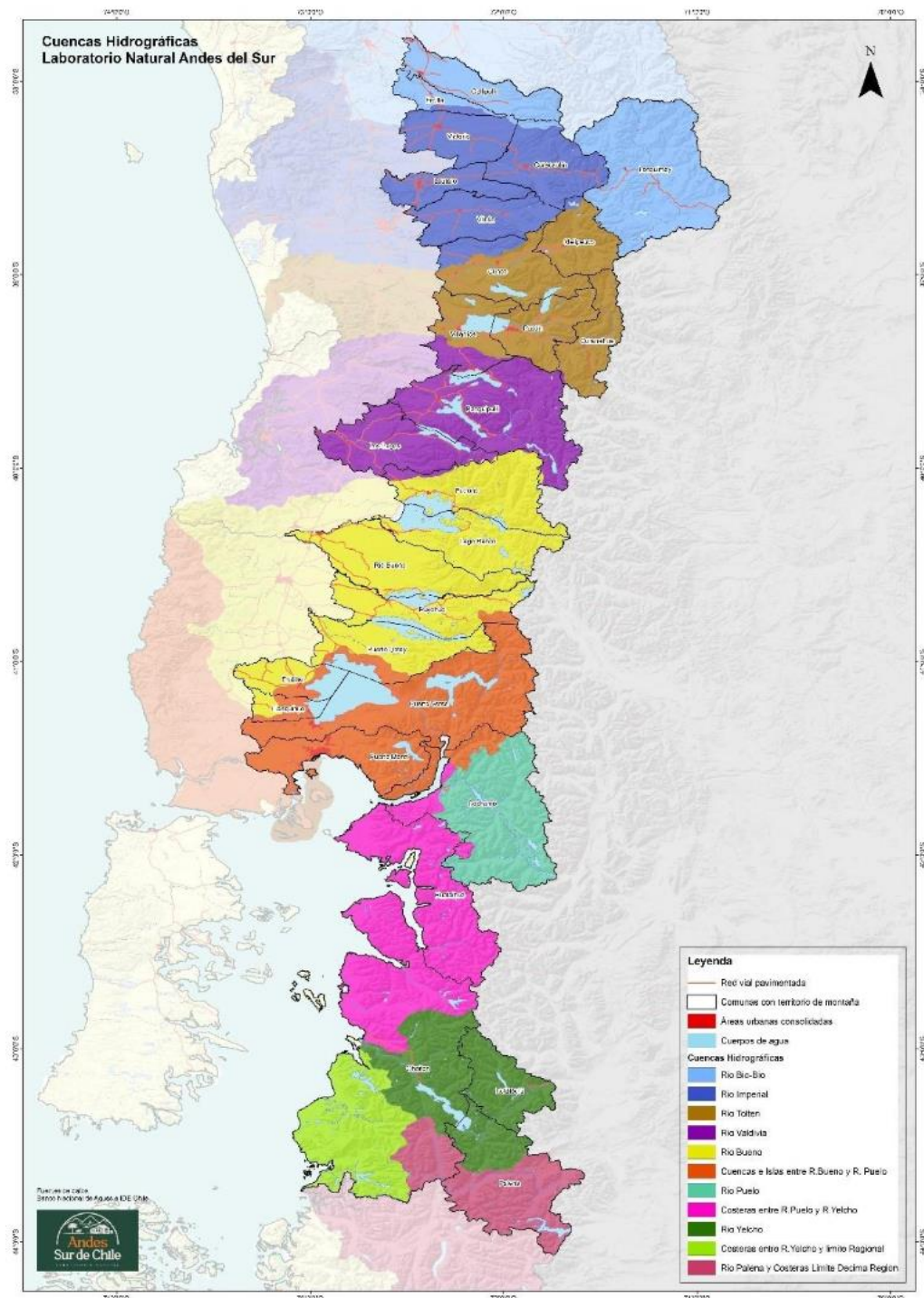


Figura 21. Cuencas hidrográficas identificadas en los límites de Laboratorio Natural Andes del Sur. Cuenca Río Puelo en color verde agua, Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho en color rosado, Río Yelcho en verde oscuro y Costeras entre R. Yelcho y Límite Regional en verde claro.

A continuación, se profundiza en las políticas, planes y normas específicas que rigen la gestión de estas cuencas, basándose en información técnica y científica proporcionada

por el Departamento General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas de Chile y otras fuentes relevantes.

La cuenca del **Río Bío Bío** es una de las más importantes del país, tanto por su extensión como por su relevancia económica y ecológica. Es la segunda cuenca más grande de Chile y abastece de agua a una amplia zona de la Región del Bío Bío y La Araucanía. La gestión de esta cuenca está regulada por el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), que busca equilibrar el uso del agua entre los sectores agrícola, industrial y doméstico, además de proteger los ecosistemas acuáticos. La DGA ha establecido caudales ecológicos mínimos para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, especialmente en áreas de alto valor ecológico, como los humedales y zonas de desembocadura. Como desafíos, la cuenca enfrenta presiones por la actividad forestal y la generación de energía hidroeléctrica, lo que ha llevado a conflictos por el uso del agua.

El **Río Imperial** es una cuenca de gran importancia para la Región de La Araucanía, ya que abastece de agua a varias comunas y sustenta actividades agrícolas y ganaderas. Está incluida en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de La Araucanía, que busca regular el uso del suelo y el agua para evitar la sobreexplotación y la contaminación. Se han establecido zonas de protección ambiental en áreas sensibles, como los humedales costeros y las zonas de recarga de acuíferos. La cuenca enfrenta problemas de contaminación por actividades agrícolas y vertidos urbanos, lo que ha llevado a la implementación de programas de monitoreo de calidad del agua.

El **Río Toltén** es una cuenca de gran relevancia ecológica y cultural, especialmente para las comunidades mapuches que habitan en sus riberas. Está regulada por el Plan de Gestión de Cuencas (PGC), que incluye medidas para la conservación de los ecosistemas acuáticos y la protección de los derechos de agua de las comunidades indígenas. Se han establecido restricciones de uso en áreas de alto valor ecológico, como los lagos y humedales asociados al río. Actualmente enfrenta presiones por la expansión agrícola y la contaminación por pesticidas, lo que ha llevado a la implementación de programas de educación ambiental.

El **Río Valdivia** es una de las cuencas más importantes de la Región de Los Ríos, conocida por su biodiversidad y su importancia histórica. Está regulada por el Plan de Gestión Integrada de Cuencas (PGIC), que busca equilibrar el uso del agua entre los sectores urbano, industrial y agrícola. Se han establecido áreas de protección de humedales y se han implementado programas de restauración ecológica en zonas degradadas mediante la aprobación de normas secundarias. Uno de los principales desafíos que enfrenta son los problemas de contaminación por vertidos industriales y urbanos, lo que ha llevado a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El **Río Bueno** es una cuenca de gran importancia para la Región de Los Ríos y Los Lagos, ya que abastece de agua a varias comunas y sustenta actividades agrícolas y ganaderas. Está incluida en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de Los Ríos, que busca regular el uso del suelo y el agua para evitar la sobreexplotación y la contaminación. Enfrenta problemas de contaminación por actividades agrícolas y vertidos urbanos, lo que ha llevado a la implementación de programas de monitoreo de calidad del agua.

Las **Cuencas e Islas entre Río Bueno y Río Puelo**, incluye varias cuencas costeras y pequeñas islas que son de gran importancia ecológica y turística. Su gestión está regulada por el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), y la protección está enfocada de los ecosistemas costeros y marinos, ya que su principal amenaza es la contaminación por actividades turísticas y pesca no regulada.

El **Río Puelo** es una cuenca de gran importancia ecológica, ya que conecta los ecosistemas de montaña con los marinos. Está regulada por el Plan de Gestión de Cuencas (PGC), que incluye medidas para la conservación de los ecosistemas acuáticos y la protección de los derechos de agua de las comunidades locales. Se han establecido restricciones de uso en áreas de alto valor ecológico, como los lagos y humedales asociados al río. Sus principales amenazas son las presiones por la expansión urbana, turística y la contaminación por desechos industriales.

Las **Cuencas Costeras entre Río Puelo y Río Yelcho** son de gran importancia ecológica, ya que albergan una gran diversidad de especies marinas y terrestres. Su gestión está regulada por el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), que busca proteger los ecosistemas costeros y marinos. Se han establecido áreas marinas protegidas y se han implementado programas de conservación de la biodiversidad. La principal amenaza es la contaminación por actividades turísticas y la pesca no regulada.

El **Río Yelcho** es una cuenca de gran importancia ecológica y turística, conocida por sus paisajes prístinos y su biodiversidad. La cuenca está regulada por el Plan de Gestión de Cuencas (PGC), que incluye medidas para la conservación de los ecosistemas acuáticos y la protección de los derechos de agua de las comunidades locales. Se han establecido restricciones de uso en áreas de alto valor ecológico, como los lagos y humedales asociados al río. Actualmente enfrenta presiones por la expansión turística y la contaminación por actividades humanas.

Las **Cuencas Costeras entre Río Yelcho y Límite Regional** son de gran importancia ecológica, ya que albergan una gran diversidad de especies marinas y terrestres. Está regulada por el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), que busca proteger los ecosistemas costeros y marinos. Se han establecido áreas marinas protegidas y se han implementado programas de conservación de la biodiversidad. La principal amenaza es la contaminación por actividades turísticas y la pesca no regulada.

El **Río Palena** es una cuenca de gran importancia ecológica y turística, conocida por sus paisajes prístinos y su biodiversidad. La cuenca está regulada por el Plan de Gestión de Cuencas (PGC), que incluye medidas para la conservación de los ecosistemas acuáticos y la protección de los derechos de agua de las comunidades locales. Se han establecido restricciones de uso en áreas de alto valor ecológico, como los lagos y humedales asociados al río. La cuenca enfrenta presiones por la expansión turística y la contaminación por actividades humanas.

A través de políticas, planes y normas específicas, se busca equilibrar el uso del agua entre los diferentes sectores, proteger los ecosistemas acuáticos y enfrentar los desafíos asociados al cambio climático y la presión humana. Sin embargo, es necesario continuar avanzando en la implementación de medidas de conservación y en la participación de las comunidades locales para lograr una gestión efectiva y sostenible de estas cuencas.

- **Principales Reservas de Agua Dulce: Glaciares y su Vulnerabilidad:**

Los glaciares de la Cordillera de los Andes son una de las principales reservas de agua dulce en Chile. Sin embargo, estos glaciares están experimentando un retroceso y adelgazamiento a nivel global, fenómeno que se espera que continúe debido al calentamiento global y a la actividad volcánica. Además, glaciares como los Nevados de Sollipulli, Mocho-Choshuencho y Osorno, aunque menos activos volcánicamente, son de gran interés científico para monitorear su masa glaciar y proyectar escenarios futuros bajo diferentes condiciones climáticas (Rowe et al., 2019; Pizarro et al., 2021). A

continuación, se profundiza en la situación actual de algunos de los glaciares más relevantes de la zona, basándose en estudios recientes y datos actualizados.

El glaciar del **Volcán Michinmahuida** ha experimentado un retroceso significativo en las últimas décadas. Estudios recientes indican que el glaciar ha perdido aproximadamente un 30% de su masa desde la década de 1980, debido al aumento de las temperaturas y a la actividad volcánica. La erupción del volcán Chaitén en 2008 también contribuyó al derretimiento acelerado del hielo en esta zona (Rivera et al., 2013).

El **Monte Tronador**, ubicado en la frontera entre Chile y Argentina, alberga varios glaciares que han mostrado un retroceso constante. Según datos del Centro de Estudios Científicos (CECs), los glaciares del Tronador han perdido entre un 20% y 40% de su volumen en los últimos 50 años. Este retroceso se atribuye principalmente al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones en la zona.

El glaciar del **Volcán Villarrica** es uno de los más estudiados en Chile debido a su accesibilidad y su constante actividad volcánica. Según un estudio publicado en 2021 por Pizarro, et al. el glaciar ha perdido más del 50% de su masa en los últimos 40 años. La actividad volcánica, que incluye emisiones de gases y material piroclástico, ha acelerado el derretimiento del hielo, especialmente en las zonas cercanas al cráter.

El **Volcán Llaima**, uno de los más activos de Sudamérica, también ha visto una reducción significativa en su cobertura glaciar. Estudios realizados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) indican que el glaciar ha retrocedido más de 2 km desde la década de 1950. Las erupciones frecuentes, como la de 2008, han contribuido a este retroceso, junto con el aumento de las temperaturas globales.

El glaciar del **Volcán Mocho**, ubicado en el complejo volcánico Mocho-Choshuencho, ha experimentado un retroceso moderado en comparación con otros glaciares de la zona. Sin embargo, estudios recientes sugieren que la pérdida de masa glaciar se ha acelerado en la última década, con una reducción del 15% en su volumen desde 2010 (Schaefer et al., 2019).

El **Nevado Sollipulli** es conocido por su gran caldera glaciar, que ha mostrado una disminución constante en su cobertura de hielo. Según datos del Programa de Monitoreo de Glaciares de Chile, el glaciar ha perdido aproximadamente un 25% de su masa en los últimos 30 años. Este retroceso se atribuye principalmente al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones en la zona.

La **Sierra Nevada**, ubicada en el Parque Nacional Conguillío, alberga varios glaciares que han experimentado un retroceso significativo. Estudios recientes indican que los glaciares de esta zona han perdido entre un 30% y 50% de su volumen en los últimos 50 años. Este retroceso ha tenido un impacto directo en los ecosistemas locales, especialmente en los lagos y ríos que dependen del deshielo glaciar.

El glaciar del **Volcán Osorno** ubicado en la Región de Los Lagos, ha experimentado un retroceso constante en las últimas décadas. Según datos del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), el glaciar ha perdido aproximadamente un 20% de su masa desde la década de 1980. Este retroceso se atribuye principalmente a los efectos del cambio climático.

El **Volcán Puyehue**, también ha visto una reducción en su cobertura glaciar al perder aproximadamente un 15% de su volumen en los últimos 30 años. Este retroceso se ha acelerado desde la erupción del volcán en 2011, que provocó un derretimiento significativo del hielo en las zonas cercanas al cráter.

Los glaciares cercanos a **Peulla**, en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, han experimentado un retroceso moderado en comparación con otras zonas de la Cordillera de los Andes. Sin embargo, estudios recientes sugieren que la pérdida de masa glaciar se ha acelerado en la última década, con una reducción del 10% en su volumen desde 2010 (Rivera et al., 2019).

El **Nevado Quetrupillán**, ubicado en el Parque Nacional Villarrica, ha experimentado un retroceso significativo en su cobertura glaciar. Según datos del Programa de Monitoreo de Glaciares de Chile, el glaciar ha perdido aproximadamente un 30% de su masa en los últimos 40 años por los efectos del cambio climático.

El **Volcán Puntagudo**, ubicado en la Región de Los Lagos, también ha visto una reducción en su cobertura glaciar. Estudios recientes indican que el glaciar ha perdido aproximadamente un 20% de su volumen en los últimos 30 años. Este retroceso se ha acelerado en la última década, debido al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones.

El glaciar del **Volcán Calbuco**, uno de los más activos de la Región de Los Lagos, ha experimentado un retroceso significativo en las últimas décadas. Según datos del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), el glaciar ha perdido más del 40% de su masa desde la década de 1980. La erupción del volcán en 2015 aceleró el derretimiento del hielo, especialmente en las zonas cercanas al cráter.

Los glaciares de la Cordillera de los Andes son una fuente vital de agua dulce, y se presentan como centinelas demostrando su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. Los estudios recientes muestran que la mayoría de los glaciares mencionados han experimentado un retroceso significativo en las últimas décadas, lo que tiene implicaciones directas para los ecosistemas y las comunidades que dependen de estos recursos hídricos. Es fundamental continuar con el monitoreo y la investigación de estos glaciares, así como implementar políticas de conservación y adaptación al cambio climático para garantizar la sostenibilidad de estas reservas de agua en el futuro

- **Lagos Nor-Patagónicos: Gradiente de Trophicidad y Presión Antropogénica:**

Los lagos nor-patagónicos, formados por procesos geológicos y glaciares, presentan un gradiente de trophicidad que varía desde condiciones ultra oligotróficas en los lagos de alta montaña hasta cierto nivel de eutrofización en los lagos precordilleranos. Esta eutrofización es el resultado de actividades humanas como la expansión urbana, agrícola, forestal y acuícola, que introducen nutrientes como nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua, afectando su calidad y los ecosistemas asociados (Pizarro et al., 2016; Huovinen et al., 2019). Entre los lagos más destacados por su tamaño y nivel de intervención humana se encuentran el Caburgua, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco, Malhue, Llanquihue, Todos los Santos y Chapo, de los cuales describiremos a continuación.

El **Lago Caburgua**, ubicado en la Región de La Araucanía, es conocido por sus aguas cristalinas y su condición oligotrófica. Sin embargo, el lago ha enfrentado desafíos relacionados con la disminución de su nivel de agua, atribuida a factores como la sequía, el cambio climático y posibles desvíos de afluentes.

El **Lago Villarrica** es uno de los cuerpos de agua con mayor superficie en la Región de La Araucanía. Aunque históricamente ha sido oligotrófico, en las últimas décadas ha experimentado un aumento en los niveles de nutrientes llevándolo a clasificarlo como mesotrófico, según la DGA, con zonas cercanas a la ciudad de Villarrica que muestran signos de eutrofización. La urbanización no planificada, el turismo masivo y la acuicultura son las principales fuentes de contaminación. En 2021, se reportó un aumento significativo en la concentración de cianobacterias, lo que llevó a la prohibición temporal de actividades acuáticas. Actualmente, el lago está iniciando el Plan de Descontaminación del Lago Villarrica, que busca reducir la carga de nutrientes y mejorar la calidad del agua. Además, se han establecido normas de emisión para las actividades industriales y agrícolas en la cuenca.

El **Lago Calafquén**, ubicado en la Región de Los Ríos, es un lago de origen glaciar que ha mostrado un aumento en su trophicidad en los últimos años. Según la DGA, el lago se encuentra en un estado mesotrófico, con áreas cercanas a las riberas que presentan signos de eutrofización. La agricultura intensiva y la expansión urbana son las principales fuentes de contaminación.

El **Lago Panguipulli**, ubicado en la Región de Los Ríos, ha experimentado un aumento en los niveles de nutrientes en las últimas décadas. La DGA clasifica al lago como oligotrófico, aunque con tendencia a la mesotrofia en algunas zonas, cuyas principales amenazas y fuentes de contaminación proviene de la actividad forestal y la expansión urbana. En 2020, se reportó un aumento en la turbidez del agua debido a la erosión del suelo, lo que llevó a la implementación de medidas de conservación. El lago está incluido en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de la Región de Los Ríos, que busca regular el uso del suelo y reducir la contaminación.

El **Lago Riñihue**, ubicado en la Región de Los Ríos, es un lago de origen glaciar que ha mantenido su condición oligotrófica gracias a su aislamiento relativo. Según la DGA, el lago se encuentra en un estado oligotrófico, con bajos niveles de nutrientes. Aunque la presión humana es menor en comparación con otros lagos, la actividad forestal y la construcción de infraestructuras han comenzado a afectar su calidad. Por ello, está incluido en el Plan de Conservación de Ecosistemas Lacustres de la Región de Los Ríos,

que busca proteger la calidad del agua y la biodiversidad. Además, se han establecido normas de calidad de aguas que limitan la concentración de nutrientes.

El **Lago Ranco**, uno de los más grandes de Chile, ha experimentado un aumento en los niveles de nutrientes debido a la actividad humana en sus alrededores. La DGA clasifica al lago como mesotrófico, con áreas cercanas a las riberas que muestran signos de eutrofización. La agricultura, la acuicultura y el turismo son las principales fuentes de contaminación.

El **Lago Malhue**, ubicado en la Región de Los Ríos, es un lago pequeño que ha mostrado un aumento en su trophicidad en los últimos años. Según la DGA, el lago se encuentra en un estado mesotrófico, con áreas cercanas a las riberas que presentan signos de eutrofización donde la agricultura y la expansión urbana son las principales fuentes de contaminación. El lago está incluido en el Plan de Manejo Integrado de Cuencas de la Región de Los Ríos, que busca reducir la entrada de nutrientes y mejorar la gestión de residuos. Además, se han establecido normas de calidad de aguas que limitan la concentración de nitrógeno y fósforos.

El **Lago Llanquihue**, uno de los más grandes y se ubica en la Región de Los Lagos, ha experimentado un aumento en los niveles de nutrientes debido a la actividad humana en sus alrededores. La DGA clasifica al lago como mesotrófico, con áreas cercanas a las riberas que muestran signos de eutrofización. Por ello, en el año 2022 se ejecutó El el Plan de Descontaminación del Lago Llanquihue “Lago Sin Huella”, que busca reducir la carga de nutrientes y mejorar la calidad del agua. Además, se han establecido normas de emisión para las actividades industriales y agrícolas en la cuenca.

El **Lago Todos los Santos**, ubicado en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, es un lago de origen glaciar que ha mantenido su condición oligotrófica gracias a su aislamiento relativo que otorga la figura de conservación. Según la DGA, el lago se encuentra en un estado oligotrófico, con bajos niveles de nutrientes. No se han reportado alarmas recientes, pero se mantiene un monitoreo constante para prevenir la eutrofización.

El **Lago Chapo**, ubicado en la Región de Los Lagos, es un lago de origen glaciar que ha mostrado un aumento en su trophicidad en los últimos años. Según la DGA, el lago se encuentra en un estado mesotrófico, con áreas cercanas a las riberas que presentan signos de eutrofización. La actividad forestal y la expansión urbana son las principales fuentes de contaminación. El lago está incluido en el Plan de Manejo Integrado de Cuencas de la Región de Los Lagos, que busca reducir la entrada de nutrientes y mejorar la gestión de residuos. Además, se han establecido normas de calidad de aguas que limitan la concentración de nitrógeno y fósforo.

La singularidad de los recursos hídricos en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos radica en su estrecha conexión con los ecosistemas de montaña y marinos, así como en su vulnerabilidad frente al cambio climático y la presión humana. La gestión integrada de cuencas, basada en un enfoque socio-ecohidrológico, es esencial para garantizar la conservación y el uso sostenible de estos recursos. Avanzar en la investigación y monitoreo de los glaciares y lagos, junto con políticas públicas que aborden las brechas existentes en la gestión del agua, será clave para enfrentar los desafíos futuros en esta región.

2.2 Gradiente de fertilidad de suelos de origen volcánico

El suelo corresponde a la capa superficial de la corteza terrestre y constituye un sistema biogeoquímico complejo, dinámico y no renovable a escala humana. Su estructura emerge de la interacción continua entre componentes minerales, materia orgánica, agua, aire y una amplia diversidad de organismos, conformando un ecosistema funcional cuya estabilidad depende de su resiliencia frente a perturbaciones físicas, químicas y biológicas. Desde una perspectiva ecológica, el suelo es el principal reservorio de biodiversidad microscópica y mesofaunal, y actúa como soporte estructural y nutricional para la vegetación, regulando procesos clave como el ciclado de nutrientes, la retención hídrica y el almacenamiento de carbono.

En su dimensión vertical, el suelo presenta una organización estratificada en horizontes edáficos, que se desarrollan como resultado de procesos pedogenéticos de larga duración, tales como la meteorización mineral, la translocación de arcillas, la acumulación de humus y la actividad bioturbadora. Cada horizonte exhibe propiedades físicas (textura, densidad aparente, porosidad), químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases) y biológicas (diversidad microbiana, actividad enzimática) distintivas, que determinan la fertilidad y funcionalidad ecológica del sistema edáfico.

Lejos de ser una matriz compacta o homogénea, el suelo posee una arquitectura porosa altamente heterogénea, compuesta por agregados, microporos y macroporos formados por procesos físicos, biológicos y químicos. Este entramado permite la circulación de agua, gases y raíces, creando nichos microambientales que sostienen comunidades de bacterias, hongos, arqueas, protistas e invertebrados. La magnitud de esta diversidad es notable: se estima que un gramo de suelo puede contener más de mil millones de bacterias y cientos de taxones distintos, evidenciando que el suelo es uno de los ecosistemas más diversos y complejos del planeta.

La comprensión del suelo como un sistema vivo y dinámico ha cobrado relevancia en las últimas décadas, especialmente debido a su rol en la regulación climática, la provisión de servicios ecosistémicos y la sustentabilidad de las actividades humanas. En este contexto, el suelo no solo es el sustrato para la producción de alimentos y recursos, sino un componente crítico de la biosfera, cuya integridad es indispensable para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres.

- **Génesis del suelo: formación, tiempos de desarrollo y controles ambientales:**

La formación del suelo (pedogénesis) es un proceso multifactorial, continuo y extremadamente lento que transforma materiales geológicos o volcánicos en un sistema edáfico capaz de sostener vida. Desde una perspectiva temporal, se estima que la generación de 1 cm de suelo puede requerir entre 100 y 1.000 años, dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de material parental, lo que refuerza su carácter de recurso no renovable a escala humana.

La pedogénesis se inicia a partir de dos vías principales:

- i. Meteorización de la roca madre (sustrato litológico), que da origen a suelos minerales a través de procesos físicos (gelifracción, termoclastia) y químicos (hidrólisis, carbonatación, oxidación).
- ii. Deposición de materiales volcánicos recientes, como cenizas, pómez, lapilli o flujos piroclásticos, que originan suelos jóvenes de alta reactividad, particularmente los Andisoles, característicos de ambientes con actividad volcánica recurrente.

Estos procesos están modulados por factores formadores del suelo, tradicionalmente agrupados en factores externos y factores internos.

Entre los factores externos, el clima es el regulador dominante, controlando la velocidad de meteorización y la dinámica de agua en el perfil. La topografía modula la estabilidad del material parental y la intensidad de erosión, mientras que la biota (microorganismos, raíces y fauna edáfica) interviene en la descomposición de materia orgánica, la incorporación de carbono y la estructuración física del suelo. Los factores internos incluyen la mineralogía del material parental, particularmente relevante en suelos volcánicos ricos en vidrio y alofanos, así como la actividad biogeoquímica en la rizosfera, que acelera la formación de complejos órgano-minerales esenciales para la retención de nutrientes y la estabilización del carbono.

Como resultado de la interacción prolongada entre estos factores, los suelos del mundo se clasifican en distintos órdenes edafológicos. La taxonomía de suelos del USDA

reconoce 12 órdenes, de los cuales Chile alberga 10, reflejo de su notable diversidad geomorfológica, climática y volcánica. Dentro de ellos destacan los Andisoles, ampliamente distribuidos en el Arco Volcánico Activo y predominantes dentro del Laboratorio Natural Andes del Sur. En Chile, estos suelos se conocen como Ñadi y Trumaos, ambos derivados de cenizas volcánicas y caracterizados por su alta porosidad, contenido de materia orgánica y comportamiento químico distintivo.

Así, la génesis del suelo no corresponde a un evento puntual sino a un proceso milenario en constante evolución, altamente sensible a perturbaciones naturales y antrópicas. Su comprensión es fundamental para interpretar los gradientes de fertilidad, resiliencia ecológica y funcionalidad ecosistémica de los territorios volcánicos del sur de Chile.

- **Andisoles del sur de Chile: propiedades edáficas, funcionalidad ecosistémica y relevancia biogeográfica:**

Los Andisoles corresponden a un orden de suelo desarrollado a partir de materiales volcánicos recientes, principalmente cenizas, escorias, pómez y depósitos piroclásticos y representan uno de los tipos edáficos más singulares del Arco Volcánico Activo de los Andes del Sur. En Chile, estos suelos son conocidos localmente como Ñadi y Trumao, ambos ampliamente distribuidos en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. A pesar de compartir un origen común, presentan dinámicas hidrológicas, químicas y estructurales diferenciadas, lo que determina su funcionalidad ecológica y su uso productivo.

Desde el punto de vista edafológico, los Andisoles se caracterizan por una alta concentración de arcillas amorfas, principalmente alofanos e imogolitas, formadas por la alteración del vidrio volcánico. Estas fases minerales confieren propiedades claves como alta porosidad, baja densidad aparente, elevada capacidad de retención de agua y una particular afinidad por el fósforo, fenómeno conocido como fijación fosfática, que condiciona su fertilidad disponible para las plantas. A su vez, presentan elevados contenidos de carbono orgánico estable, resultado de la formación de complejos órgano-minerales resistentes a la degradación, lo que los posiciona como importantes reservorios de carbono a escala regional.

- **Ñadi: suelos hidromórficos y reguladores del ciclo hídrico:**

Los suelos Ñadi se desarrollan en paisajes de baja pendiente y alta pluviosidad, presentando drenaje imperfecto a pobre debido a la presencia de horizontes densificados

(petrocalcicos o parámicos) o capas endurecidas que restringen la percolación profunda. Esta condición promueve una saturación estacional que favorece la acumulación de materia orgánica y el desarrollo de microambientes anaeróbicos.

Estas propiedades convierten a los Ñadi en sistemas edáficos de alta relevancia ecológica, ya que actúan simultáneamente como importantes reservorios de carbono en sus horizontes orgánicos profundos, como reguladores del ciclo hídrico al amortiguar eventos de inundación, y como sustratos que sostienen comunidades vegetales especializadas en condiciones de anegamiento propias de la ecozona valdiviana. No obstante, esta misma estructura, caracterizada por su elevada humedad y fragilidad física, los hace especialmente susceptibles a la compactación causada por maquinaria agrícola, alteración que reduce su porosidad y compromete de manera irreversible su capacidad de infiltración y funcionamiento hidrológico.

- **Trumaos: suelos profundos, fértiles y de alta resiliencia:**

Los Trumaos, en contraste, corresponden a Andisoles bien drenados, desarrollados en topografías más permeables y con mayor aireación del perfil. Poseen una estructura granular estable, elevada retención hídrica útil y un contenido significativo de nutrientes totales, lo que los convierte en suelos de alta aptitud agrícola y ganadera. Su resiliencia frente a sequías se debe a su capacidad de almacenar agua en microporos y liberar nutrientes gradualmente mediante procesos biogeoquímicos vinculados a la actividad de microorganismos y hongos micorrícicos.

Adicionalmente, estos suelos presentan una destacada capacidad para adsorber y retener metales pesados y contaminantes, actuando como filtros naturales que protegen cursos de agua y ecosistemas asociados. Esta propiedad es especialmente relevante en cuencas sometidas a actividad volcánica frecuente, donde la deposición de tefra introduce compuestos reactivos que deben ser estabilizados en el sistema edáfico.

Ñadi y Trumaos sostienen gran parte de los bosques templados lluviosos con altos niveles de endemismo, así como actividades agropecuarias que dependen directamente de su fertilidad y capacidad de retención hídrica. Más del 60% de la producción agrícola del sur de Chile ocurre sobre Andisoles, y una proporción significativa de los ecosistemas nativos, incluidos bosques de Nothofagus y relictos glaciares, se desarrolla sobre estos suelos.

En este contexto, los Andisoles no solo representan un componente edáfico, sino una singularidad biogeográfica clave del Laboratorio Natural Andes del Sur, donde su origen volcánico, comportamiento hidrológico y relevancia para la biodiversidad los posicionan

como elementos centrales en el estudio del cambio global, la resiliencia ecosistémica y la planificación territorial sostenible.

- **Dinámica e impacto de la caída de cenizas volcánicas en sistemas socioecológicos:**

La deposición de cenizas volcánicas o tefra constituye una de las perturbaciones más recurrentes y de mayor magnitud en los Andes del Sur. Su dispersión, composición química y efectos ecosistémicos dependen de parámetros eruptivos (altura de columna, volumen emitido, granulometría) y condiciones atmosféricas dominantes (dirección del viento, estabilidad atmosférica, régimen de precipitaciones).

Dispersión regional y transporte de cenizas:

La trayectoria de la pluma eruptiva está fuertemente modulada por los vientos del oeste, que facilitan el transporte transcordillerano de material particulado hacia Argentina. Erupciones recientes ilustran esta dinámica: la del volcán Calbuco en 2015 produjo depósitos significativos en las provincias de Río Negro y Neuquén, mientras que la del complejo Puyehue–Cordón Caulle en 2011 generó una columna eruptiva que alcanzó niveles estratosféricos, dispersando cenizas hasta Buenos Aires e incluso Uruguay. La posterior precipitación puede intensificar los impactos al incorporar tefra a sistemas lacustres, fluviales y costeros, como ocurrió en Chaitén (2008), donde el colapso hidrológico de la cuenca obligó al reasentamiento urbano.

Composición química y efectos en ecosistemas y actividades humanas:

Las cenizas volcánicas contienen mezclas variables de silicatos vítreos, minerales inestables y compuestos solubles como flúor, azufre y metales traza. Su deposición puede afectar severamente la ganadería por fluorosis aguda en animales, la agricultura por abrasión de tejidos foliares y bloqueo de fotosíntesis, los recursos hídricos por acidificación y turbidez y la salud pública, especialmente por la inhalación de partículas finas (PM10 y PM2.5) que incrementan la incidencia de afecciones respiratorias. En zonas como la Patagonia argentina, estos efectos han sido documentados de manera significativa tras eventos eruptivos de gran magnitud.

Necesidad de monitoreo binacional y gestión de riesgos:

La recurrencia de erupciones en el Arco Volcánico Activo hace imprescindible fortalecer los sistemas de monitoreo y alerta temprana, así como establecer protocolos binacionales de mitigación entre Chile y Argentina. La investigación aplicada es

fundamental para caracterizar el comportamiento de la pluma, modelar la dispersión de partículas, evaluar la vulnerabilidad de sistemas productivos y diseñar estrategias de adaptación para comunidades expuestas. En este sentido, la caída de cenizas no constituye un fenómeno aislado, sino una perturbación transfronteriza que exige coordinación científica y política de largo plazo.

- **Sucesión ecológica en paisajes volcánicos: regeneración y dinámica ecosistémica post-erupción:**

Las erupciones volcánicas explosivas generan escenarios de sucesión primaria, en los cuales las superficies recién cubiertas por cenizas, pómez o flujos piroclásticos presentan condiciones extremas: ausencia de suelo desarrollado, baja disponibilidad de nutrientes, alta acidez y una estructura física inestable. No obstante, estos ambientes desencadenan un proceso de regeneración ecológica altamente estructurado, que ha sido ampliamente estudiado en el Arco Volcánico Activo de los Andes del Sur, donde la recurrencia de erupciones crea cronosecuencias ideales para analizar el funcionamiento de los ecosistemas.

- i. Fase inicial: colonización biótica y formación del protosuelo

Tras la deposición de tefra, los primeros organismos en establecerse suelen ser líquenes, algas y cianobacterias, cuya capacidad para fijar carbono y nitrógeno, así como para alterar físicamente la superficie mineral, contribuye a generar las primeras capas de material orgánico. Estos pioneros facilitan la retención de humedad y la estabilización de partículas volcánicas, permitiendo el establecimiento progresivo de musgos y helechos, que amplifican la acumulación de materia orgánica y la retención hídrica. Esta etapa es clave para la formación de un protosuelo en el cual comienzan a operar procesos pedogenéticos tempranos.

- ii. Fase intermedia: incremento de complejidad estructural

Una vez que el suelo adquiere mayor profundidad y capacidad de retención de nutrientes, se incorporan plantas herbáceas, gramíneas y especies arbustivas como *Fuchsia magellanica* (chilco) y *Chusquea culeou* (quila). La presencia de estas plantas incrementa la heterogeneidad del hábitat y permite la llegada de insectos, dispersores y pequeños vertebrados. La descomposición de raíces, tallos y hojarasca acelera la formación de humus y estimula la actividad microbiana y fúngica, especialmente de hongos micorrícicos, que desempeñan un rol central en la absorción de fósforo y nitrógeno provenientes de la tefra.

iii. Fase avanzada: bosques dinámicos y ausencia de un “clímax” estático
En territorios volcánicamente activos, la idea clásica de un “bosque clímax” estable ha sido reemplazada por modelos de dinámica no lineal, donde perturbaciones recurrentes erupciones, incendios, caídas de árboles senescentes mantienen los ecosistemas en un mosaico de estados sucesionales simultáneos. Estudios dendrocronológicos en bosques de araucaria y alerce evidencian que estos sistemas presentan regeneración asincrónica, micro-sucesiones bajo el dosel y reemplazos periódicos de especies motivados por la actividad volcánica y los cambios climáticos.

Casos como el del volcán Chaitén (2008) demuestran que, en algunos eventos, la composición vegetal posterior no reproduce necesariamente la del bosque pre-erupción, sino que puede dar lugar a ensamblajes alternativos de especies, coherentes con la teoría de estados y transiciones. De este modo, la sucesión ecológica en paisajes volcánicos no es un trayecto lineal hacia un único estado final, sino un proceso altamente influido por la historia de perturbaciones y por la interacción entre suelo, clima y biota.

- **Hongos de montaña y simbiosis micorrícica: motores invisibles de la regeneración post-volcánica**

En los ecosistemas volcánicos del sur de Chile, los hongos micorrícicos representan uno de los componentes biológicos más determinantes en la recuperación del suelo y la reactivación de la productividad vegetal tras una erupción. Estas asociaciones simbióticas entre hongos y raíces, existentes desde hace al menos 400 millones de años, facilitan la colonización de sustratos jóvenes de origen volcánico, caracterizados por su baja disponibilidad inicial de nutrientes y elevada inestabilidad fisicoquímica.

En regiones como La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, especies fúngicas nativas como *Cortinarius magellanicus* y *Descolea antarctica* forman ectomicorrizas con raíces de *Nothofagus*, *Araucaria araucana* y diversos arbustos, incrementando la absorción de nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno y fósforo, cuya disponibilidad en los primeros estadios post-eruptivos suele estar limitada por la fijación química en materiales vítreos. Las hifas fúngicas, al extenderse varios metros más allá de la rizósfera, actúan como verdaderas redes de intercambio, aumentando la superficie efectiva de absorción y facilitando la estabilización de partículas minerales a través de la formación de agregados edáficos.

Además, muchos hongos presentan mecanismos de detoxificación de compuestos volcánicos, incluyendo la inmovilización de metales traza y la transformación de azufre

reducido, protegiendo así a las plantas de toxicidades frecuentes en suelos derivados de tefra reciente. Estudios realizados tras la erupción del volcán Chaitén (2008) evidenciaron que más del 80% de las plantas pioneras presentes en áreas perturbadas estaban micorrizadas, acelerando la acumulación de materia orgánica y la maduración temprana del suelo.

A la vez, especies macroscópicas emblemáticas como *Ramaria patagonica* (changle) o *Cyttaria espinosae* (digüeño) cumplen roles ecológicos complementarios: participan en la descomposición de madera, forman corredores micorrícicos que conectan parches de vegetación remanente y actúan como recursos alimentarios para fauna nativa y comunidades humanas. No obstante, el cambio climático y la pérdida de hábitat amenazan la diversidad fúngica, particularmente en altitudes intermedias donde el aumento de temperatura y la reducción de humedad edáfica están modificando la distribución de especies.

- **Plantas pioneras en sustratos volcánicos: adaptación, funcionalidad y rol ingenieril**

En ambientes recientemente afectados por erupciones, donde predominan suelos jóvenes, ácidos y pobres en nutrientes, un conjunto especializado de plantas pioneras desempeña un papel central en la estabilización del sustrato, la incorporación de materia orgánica y la transición hacia comunidades vegetales más complejas. Estas especies han evolucionado rasgos morfológicos y fisiológicos que les permiten sobrevivir en condiciones de estrés hídrico, alta exposición y baja disponibilidad de nutrientes.

Entre estas destacan la chaura (*Gaultheria mucronata*), cuyo sistema radical superficial establece asociaciones micorrícicas que facilitan la absorción temprana de nutrientes en suelos inmaduros; sus hojas coriáceas reducen la pérdida de agua, y sus frutos carnosos atraen dispersores que incrementan la conectividad biológica del paisaje. La murta o murtilla (*Ugni molinae*) presenta semillas tolerantes a la acidez y estrategias de repoblación rápida mediante dispersión por aves, lo que permite su establecimiento en claros y bordes post-erupción.

Especies leñosas como el radial (*Lomatia dentata*) y el avellano (*Gevuina avellana*) contribuyen a etapas sucesionales intermedias gracias a su resistencia a gases volcánicos, capacidad de rebrote y hojas adaptadas para minimizar la acumulación de ceniza. Por su parte, el fuinke (*Lomatia ferruginea*) destaca por su follaje denso, que protege el suelo de la erosión eólica, y por la presencia de microorganismos fijadores de

nitrógeno en su corteza, un aporte clave para la recuperación de la fertilidad en suelos con bajo contenido de nutrientes disponibles.

En conjunto, estas plantas pioneras actúan como ingenieras ecosistémicas, ya que sus raíces rompen la compactación inicial de la tefra, su biomasa muerta alimenta la formación de humus, y su presencia atrae a polinizadores, herbívoros y dispersores, favoreciendo la transición hacia comunidades arbustivas y boscosas más complejas. Su interacción con hongos micorrícicos, bacterias y organismos descomponedores da forma al desarrollo del suelo, constituyéndose en uno de los procesos ecológicos fundamentales para la resiliencia del paisaje volcánico andino.

- **Amenazas a los suelos volcánicos del sur de Chile: vulnerabilidad, degradación y presiones socioambientales**

Los suelos volcánicos del sur de Chile, enfrentan un conjunto de amenazas que resultan de la interacción entre factores climáticos, perturbaciones antrópicas y presiones históricas sobre el territorio. Su estructura altamente porosa, su dependencia de condiciones hídricas específicas y su rol como reservorios de carbono los convierten en sistemas edáficos excepcionalmente funcionales, pero también altamente vulnerables a la degradación.

El cambio climático constituye uno de los principales impulsores de esta vulnerabilidad. En los Ñadi, el aumento de temperaturas y la intensificación de sequías estacionales reducen la saturación hídrica que mantiene sus propiedades hidromórficas, afectando la actividad microbiana y provocando oxidación de horizontes orgánicos profundos. En los Trumaos, la disminución de precipitaciones incrementa la erosión eólica, favoreciendo la pérdida de capas fértiles a tasas que pueden superar las cinco toneladas por hectárea al año en zonas agrícolas expuestas. Los incendios forestales, fenómenos cada vez más frecuentes y extensos, generan la combustión de la capa orgánica superficial, reducen la infiltración al provocar el sellamiento por cenizas y alteran la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.

A estas presiones se suman prácticas productivas de alto impacto. El uso intensivo de maquinaria pesada, especialmente en áreas de Ñadi, produce una compactación que disminuye la porosidad desde valores naturales cercanos a un 60% hasta niveles inferiores al 35%, afectando la infiltración y desencadenando procesos de anegamiento superficial o degradación estructural. En los Trumaos, los monocultivos de alta demanda nutricional aceleran el agotamiento de nutrientes y la pérdida de carbono orgánico, comprometiendo la estabilidad de los complejos alofánicos característicos de estos

suelos. En ambos sistemas, la sustitución de bosques nativos por plantaciones exóticas reduce la diversidad de raíces y microorganismos que sostienen la estructura edáfica, disminuyendo la resiliencia frente a perturbaciones.

La degradación se intensifica con la pérdida de especies nodrizas clave, como *Aristotelia chilensis* (maqui) y *Embothrium coccineum* (notro), cuya desaparición debilita los procesos de fijación de nitrógeno, la protección del suelo contra la erosión y la disponibilidad de recursos para dispersores. Incendios recurrentes, tala indiscriminada y cambios de uso de suelo han reducido su presencia, ralentizando notablemente los ciclos naturales de regeneración.

Históricamente, estas amenazas han estado vinculadas a procesos de colonización, expansión agrícola e industrialización, particularmente entre finales del siglo XIX y mediados del siglo XX, cuando extensas áreas de bosques templados fueron taladas o quemadas para habilitar terrenos agrícolas. La elaboración del primer mapa de suelos de Chile en el año 1947, en torno a las cuencas de Llanquihue y Osorno, respondió precisamente a la preocupación por la degradación acelerada de estos suelos altamente productivos pero frágiles.

Hoy, múltiples estudios confirman que el cambio de uso de suelo continúa alterando la estructura física y biogeoquímica de los Ñadi y Trumaos, reduciendo su capacidad de retención hídrica, su contenido de materia orgánica y su funcionalidad como sumideros de carbono. Frente a este escenario, la gestión sostenible de los suelos volcánicos se vuelve fundamental para preservar la biodiversidad, sostener las actividades productivas y asegurar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades del sur de Chile.

- **Conexión entre suelo, bosque y recursos hídricos en los ecosistemas volcánicos del LNAS**

Los ecosistemas del LNAS se estructuran sobre una estrecha interdependencia entre los suelos volcánicos, los bosques templados lluviosos y la red hidrográfica de montaña, formando un sistema ecohidrológico donde los procesos de cada componente influyen de manera directa en los otros. Los Andisoles, por su alta porosidad, capacidad de retención de agua y abundancia de complejos órgano-minerales, actúan como reguladores clave del ciclo hídrico, amortiguando flujos extremos y alimentando ríos y acuíferos durante períodos de baja precipitación.

Los bosques, particularmente los dominados por *Nothofagus*, *Araucaria araucana* y *Fitzroya cupressoides*, fortalecen esta regulación mediante la interceptación de

precipitaciones, la reducción de escorrentía y el aumento del almacenamiento subterráneo. Su sistema radical y su interacción con hongos micorrícicos promueven la formación y estabilización del suelo, mejoran la infiltración y favorecen la transferencia de nutrientes en la rizósfera. Simultáneamente, el mantenimiento de bosques maduros y su alta capacidad de fijación de carbono contribuyen a la estabilidad climática local y regional, modulando la demanda evaporativa sobre el paisaje.

En este contexto, los ríos y lagos del LNAS muchos de ellos de origen glacial o volcánico dependen estrechamente de la salud del suelo y de la cobertura vegetal. La degradación de los Andisoles, ya sea por incendios, compactación, deforestación o erosión, altera la calidad y la disponibilidad de agua, generando efectos acumulativos en las cuencas, desde la alta cordillera hasta los ecosistemas costeros. Por ello, comprender la articulación funcional entre suelo, bosque y agua constituye un paso fundamental para la planificación territorial, la mitigación de riesgos asociados a eventos extremos y la protección de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales.

En conclusión, los suelos volcánicos del Laboratorio Natural Andes del Sur representan uno de los elementos ecológicos más relevantes y a la vez más vulnerables del territorio. Su origen en procesos eruptivos, su alto contenido de materia orgánica y su mineralogía rica en alofanos los convierten en sistemas con gran capacidad para almacenar agua y carbono, sostener bosques de alta diversidad y regular dinámicas ecohidrológicas críticas. Sin embargo, su fragilidad estructural especialmente evidente en Ñadis y Trumaos los hace susceptibles a degradación bajo presiones antrópicas y climáticas.

Comprender la pedogénesis, funcionalidad y amenazas de estos suelos es esencial para orientar estrategias de manejo sustentable, restauración y adaptación al cambio global. La evidencia muestra que la salud de los suelos está íntimamente relacionada con la resiliencia de los bosques templados, la estabilidad de las cuencas hidrográficas y el bienestar de las comunidades humanas que dependen de ellas. Por lo tanto, la conservación y gestión integrada del suelo, el bosque y el agua debe posicionarse como un eje central en la gobernanza socioambiental del LNAS.

En síntesis, los suelos volcánicos del sur de Chile no son únicamente un sustrato físico, sino componentes activos de un sistema interconectado cuyo funcionamiento determina la productividad, la estabilidad ecológica y la habitabilidad del territorio. Su protección es, por ende, una prioridad estratégica para la sustentabilidad presente y futura del Laboratorio Natural Andes del Sur.

- **Capacidad de uso del suelo como indicador del gradiente de fertilidad en el LNAS**

Las funcionalidades de los suelos de origen volcánico constituyen una variable estructural clave para el análisis del gradiente de fertilidad del LNAS. La distribución espacial de estos suelos, según su capacidad de uso, permite identificar áreas de alta aptitud, zonas con limitaciones severas y franjas de transición funcional. Actualmente, solo se cuenta con la información proporcionada por CIREN en los siguientes años: Araucanía (2013), Los Ríos (2017), Los Lagos (2020). Además, para la creación de estos reportes, las capas de Suelos de CIREN se han intersectado con los límites ODEPA vigentes escala 1:50.000 (2022) para efectos de cálculo de superficie según Capacidad de Uso de los Suelos (CUS) a nivel de Región, Provincia y Comuna, razón por la cual existen diferencias menores con las capas de origen. La CUS es una clasificación técnica interpretativa del suelo, basada en los efectos combinados del clima y sus características permanentes. Su objetivo es clasificar los suelos para determinar su uso y señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos propios de una zona, como también indicar las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Las clases convencionales para definir la CUS se designan con números romanos del I al VIII, ordenadas de acuerdo con sus crecientes limitaciones y riesgos en el uso (Zelada y Maquire, 2005). Se define que, los suelos de clases I, II, III y IV, son aquellos adaptados para cultivos, y se diferencian de algunas características específicas. Mientras que los suelos de Clases V, VI, VII y VIII, son de usos más limitados.

Cabe señalar que, por motivos metodológicos, hay un 46% de la superficie del LNAS que no cuenta con esta información. En la siguiente tabla se muestra el desglose del porcentaje restante, equivalente al 54% de la superficie del LNAS:

Tabla 3. Variables funcionales de los suelos volcánicos de los Andes del Sur de Chile

Variable	Clasificación	Superficie (km ²)	Proporción a la superficie de LNAS (%)
Suelos volcánicos con pocas limitaciones, son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fértiles y fáciles de trabajar.	Capacidad uso I	28	0,05
Presentan algunas limitaciones. Corresponden a suelos planos con ligeras pendientes y presentan suelos profundos o moderadamente profundos,	Capacidad de uso II	2230,5	4,2

de buena permeabilidad y drenaje.			
Presentan moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de cultivos, requiriendo en algunos casos, prácticas especiales de conservación.	Capacidad de uso III	4386,3	8,2
Presentan severas limitaciones de uso que restringen la elección de cultivos. Estos suelos pueden usarse para cultivos, praderas, frutales, praderas de secano, etc (Casanov,2010; Zelada y Maquire, 2005).	Capacidad de uso IV	3062	5,7
Tienen escaso o ningún riesgo de erosión, pero presentan otras limitaciones que no pueden removerse en forma fácil y que limitan su uso a empastadas, praderas naturales de secano (range) o forestales.	Capacidad de uso V	7,7	0,01
Suelos inadecuados para cultivos y su uso está limitado a pastos y explotaciones forestales.	Capacidad de uso VI	3537,6	6,6
Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos, siendo el pastoreo y la explotación forestal su uso fundamental	Capacidad de uso VII	7211	13,6
Sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoya hidrográficas.	Capacidad de uso VIII	3413,2	6,4
Corresponde a usos de suelos no clasificados para cultivos (Casanova, 2010; Zelada y Maquire, 2005).	N.C	4034	7,6

Estas variables permiten interpretar los gradientes de fertilidad del territorio y su relación con la distribución y estructura de los bosques templados, estableciendo el marco de referencia para los análisis específicos que se desarrollan en los capítulos siguientes.

2.3. Bosques templados de latitudes medias: singularidad ecológica y relevancia biogeográfica

Los bosques templados de latitudes medias del Cono Sur, particularmente aquellos del sur de Chile y zonas adyacentes de Argentina, constituyen uno de los ecosistemas más singulares del planeta debido a su combinación única de historia evolutiva, altos niveles de endemismo, complejidad estructural y fuerte influencia de procesos geológicos y climáticos. Localizados en un rango latitudinal donde convergen masas de aire frío subantártico, sistemas de precipitaciones orográficas y una marcada estacionalidad lumínica, estos bosques conforman un ambiente altamente dinámico, caracterizado por gradientes abruptos desde la cordillera hasta el mar, y por una diversidad de microclimas que sostienen una elevada heterogeneidad biológica.

Su origen se remonta a linajes ancestrales del supercontinente Gondwana, cuyas floras sobrevivieron a extinciones masivas, desplazamientos tectónicos y repetidos ciclos glaciares del Cuaternario. La persistencia de géneros como *Nothofagus*, *Araucaria* y *Fitzroya* refleja esta profunda continuidad biogeográfica, posicionando a los bosques templados del sur de Chile como verdaderos refugios evolutivos. La interacción entre estos linajes longevos y un territorio marcado por erupciones volcánicas, glaciaciones y complejas dinámicas hidrológicas ha moldeado comunidades altamente adaptadas a la perturbación, donde la regeneración, la sucesión y los cambios estructurales son procesos permanentes.

Desde una perspectiva funcional, estos bosques cumplen un rol crucial en la regulación climática y ecohidrológica del territorio. Su alta biomasa aérea y subterránea los convierte en importantes reservorios de carbono, mientras que su estructura multiestrato, compuesta por árboles emergentes, doseles intermedios, sotobosque denso y una rica comunidad de epífitas, sostiene procesos ecológicos clave como la interceptación de precipitaciones, la estabilización de suelos volcánicos y la provisión de hábitats especializados para especies endémicas de flora y fauna.

En el contexto del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS), los bosques templados representan un componente esencial del socio-ecosistema regional. Actúan como corredores ecológicos que conectan valles, cuencas y pisos altitudinales; como barreras naturales frente a la erosión y eventos extremos; y como espacios culturales fundamentales para comunidades rurales e indígenas. No obstante, estos bosques enfrentan presiones crecientes debido al cambio climático, incendios, invasiones

biológicas y transformaciones históricas del uso de suelo, lo que subraya la necesidad de fortalecer su estudio, monitoreo y conservación.

- **Bosque de montaña: composición, estructura y funcionamiento ecológico**

Los bosques de montaña del sur de Chile, particularmente aquellos ubicados dentro del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS), conforman sistemas ecológicos altamente complejos, determinados por fuertes gradientes altitudinales, condiciones climáticas rigurosas y una estrecha interacción entre procesos biológicos, geológicos e hidrológicos. Estos bosques se distribuyen desde la zona andina superior hasta laderas intermedias y piedemontes, abarcando un mosaico de microhábitats influenciados por variaciones de temperatura, régimen de precipitaciones, exposición solar y frecuencia de perturbaciones naturales como erupciones volcánicas, deslizamientos, caídas de árboles e incendios.

Composición florística y adaptaciones funcionales

La composición del bosque de montaña está dominada por especies del género *Nothofagus*, incluyendo *N. pumilio* (lenga), *N. betuloides* (coigüe de Magallanes) y *N. dombeyi* (coigüe) que presentan adaptaciones estructurales y fisiológicas frente a bajas temperaturas, fuertes vientos y suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas. En sectores más húmedos y protegidos se integran otros elementos de la flora valdiviana, como *Drimys winteri* (canelo), *Aristotelia chilensis* (maqui) y diversos arbustos del sotobosque. La presencia de epífitas, como musgos, líquenes, hepáticas y helechos, incrementa la complejidad estructural y contribuye de manera significativa a los ciclos de nutrientes y al balance hídrico del ecosistema.

Estos bosques albergan una diversidad de especies adaptadas a condiciones de baja fertilidad edáfica, alta acidez y pulsos de disturbio recurrentes. La regeneración post-perturbación, particularmente en áreas afectadas por tefra volcánica, es facilitada por plantas pioneras y asociaciones micorrícicas que optimizan la captura de nutrientes limitantes, evidenciando el fuerte acoplamiento entre vegetación, suelo y microbiota.

Estructura vertical y dinámica del dosel

El bosque de montaña se caracteriza por una estructura vertical compleja compuesta por estratos emergentes, doseles intermedios, sotobosque cerrado y un subdosel de plántulas y regeneración avanzada. Esta estratificación modula la disponibilidad de luz y la competencia por recursos, generando nichos diferenciados que sostienen una alta

diversidad funcional. Los árboles emergentes, frecuentemente lengas y coigües centenarios, contribuyen a interceptar gran parte de las precipitaciones orográficas y actúan como pilares estructurales frente a vientos de alta montaña.

Las caídas de árboles por viento (windthrow), junto con los volteos de raíces en suelos saturados, crean aperturas en el dosel que funcionan como motores de la dinámica sucesional. Estos claros permiten la entrada de luz, estimulan el rebrote de especies arbustivas y favorecen el establecimiento de plántulas que requieren mayor irradiancia. Como resultado, el paisaje presenta una estructura en mosaico, donde parches en distintas etapas sucesionales coexisten y retroalimentan la resiliencia del sistema.

Procesos ecológicos y funcionamiento interno del bosque

El funcionamiento del bosque de montaña está fuertemente determinado por procesos ecohidrológicos que conectan el dosel con el suelo y la red de drenaje. La biomasa epífita y el denso sotobosque capturan y retienen humedad, mientras que la hojarasca y la materia orgánica acumulada sobre Andisoles facilitan la infiltración y el almacenamiento de agua en profundidad. La descomposición de la hojarasca es modulada por una comunidad diversa de hongos saprótrofos, invertebrados y microorganismos, generando nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal en un contexto edáfico donde la disponibilidad de fósforo y nitrógeno suele estar limitada por la mineralogía volcánica. La presencia de raíces superficiales y profundas favorece la estabilización de suelos y laderas, mientras que las asociaciones con hongos micorrícicos mejoran la capacidad de absorción de elementos esenciales y la resiliencia del bosque frente a variaciones climáticas abruptas. En conjunto, estos procesos sostienen un sistema dinámico en el que la sucesión, la regeneración y la perturbación interactúan de manera continua.

Sensibilidad a perturbaciones y respuesta al cambio global

Si bien los bosques de montaña presentan adaptaciones a perturbaciones naturales, su sensibilidad aumenta frente a presiones asociadas al cambio climático, tales como el incremento de temperaturas, la disminución de precipitaciones nival y la mayor frecuencia de incendios. Estas tendencias pueden alterar la composición florística, desplazar límites altitudinales de especies, incrementar la mortalidad arbórea y modificar la disponibilidad hídrica a escala de cuenca.

En el contexto del LNAS, comprender la estructura y funcionamiento de estos bosques no sólo es fundamental para su conservación, sino también para la gestión de riesgos naturales y la planificación territorial en zonas donde la actividad volcánica y climática interactúan con infraestructura crítica y comunidades humanas.

- **Registros paleoambientales y dendrocronológicos como herramientas para la reconstrucción del paisaje**

La paleobotánica y la dendrocronología constituyen dos disciplinas fundamentales para reconstruir la historia ecológica y climática de los bosques templados de montaña del sur de Chile. A través del estudio de fósiles vegetales, restos subfósiles y anillos de crecimiento, estas ciencias permiten descifrar las transformaciones del paisaje a lo largo de miles de años, revelando patrones de disturbio, respuestas biogeográficas y procesos evolutivos que han moldeado las comunidades actuales.

Paleobotánica: memoria profunda del bosque

La paleobotánica se centra en el análisis de polen, fitolitos, maderas, semillas y hojas preservadas en sedimentos lacustres, turberas y volcánicas. En el LNAS, los registros polínicos acumulados en lagos andinos y mallines constituyen archivos excepcionales que documentan las variaciones de la vegetación desde el último máximo glacial hasta el presente. Estos estudios han mostrado, por ejemplo, que especies como *Nothofagus dombeyi* y *Araucaria araucana* se expandieron hacia sus actuales rangos altitudinales y latitudinales tras el retroceso de los glaciares, mientras que otras, como *Fitzroya cupressoides*, persistieron en refugios climáticos estrechos.

La presencia de capas de cenizas volcánicas (tefras) dentro de estos registros actúa como marcadores cronológicos precisos, permitiendo sincronizar eventos eruptivos con cambios abruptos en la composición vegetal. Así, la paleobotánica ha revelado que grandes erupciones, como las del volcán Osorno, Mocho-Choshuenco o el Complejo Puyehue-Cordón Caulle, han tenido efectos significativos sobre la estructura y distribución de los bosques durante los últimos 10.000 años.

Dendrocronología: ciclos de vida, clima y perturbaciones

La dendrocronología, por su parte, utiliza los anillos de crecimiento anual de los árboles para comprender variaciones climáticas, dinámica forestal y eventos de disturbio a escalas de décadas a siglos. En el sur de Chile, especies longevas como *Fitzroya cupressoides* (alerce), *Pilgerodendron uviferum*, *Nothofagus pumilio* y *Araucaria araucana* permiten construir cronologías de alta resolución, algunas de ellas superando los 3.600 años.

La anchura, densidad y microanatomía de los anillos ofrecen información detallada sobre condiciones de precipitación, sequías, temperaturas extremas, erupciones volcánicas y

episodios de incendios. Anillos de "crecimiento reprimido" pueden indicar la caída de ceniza volcánica o la disminución abrupta de radiación solar, mientras que patrones de cicatrices permiten identificar incendios históricos y su periodicidad. Estos datos son esenciales para evaluar la resiliencia del bosque frente al cambio climático actual y proyectar posibles respuestas ante eventos extremos.

Integradas, la paleobotánica y la dendrocronología revelan que los bosques templados del LNAS no son estáticos, sino sistemas dinámicos moldeados por disturbios recurrentes, transiciones climáticas y eventos geológicos de gran magnitud. Esta perspectiva temporal profunda permite contextualizar los cambios contemporáneos, como la sequía prolongada, la disminución de nieve o la mayor frecuencia de incendios, dentro de una historia más amplia, proporcionando herramientas clave para la conservación, restauración y gestión adaptativa del territorio.

- **Taxones estructurales clave en los bosques templados andinos: Araucaria, Nothofagus y Fitzroya**

Los bosques templados del sur de Chile albergan un conjunto de especies arbóreas de alto valor ecológico, biogeográfico y cultural, cuya presencia define la estructura y funcionalidad de los ecosistemas montanos del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS). Entre ellas destacan *Araucaria araucana*, diversas especies del género *Nothofagus* y *Fitzroya cupressoides* (alerce), las cuales representan linajes antiguos, adaptados a un territorio modelado por glaciaciones, actividad volcánica activa y marcados gradientes altitudinales.

Araucaria araucana: un relictó gondwánico y pilar ecológico de alta montaña

La especie *Araucaria araucana* es de distribución disyuntiva entre la Cordillera de la Costa y de los Andes, pero predominante en el sector cordillerano de la Región de La Araucanía, tiene una fuente genética única y antigua, registrando su existencia desde el último máximo glacial (UMG), correspondiente a la época de máxima extensión de capa de hielo en el último periodo glacial hace 20.000 a 10.000 años atrás. Son las investigaciones elaboradas a partir de la dendrocronología las que muestran una relación con el Arco volcánico activo y su cualidad de ser una especie resiliente ante siniestros de incendios, originados por ceniza expulsada en los eventos de erupción volcánica. Es desde el siglo XIX donde ocurren las perturbaciones por actividad humana, calculando que los bosques de *Araucaria* en promedio enfrentarían 1 incendio cada 7 años, y de tipo

de alta gravedad o eventos de reemplazo a de rodales, entre los años 1648 y 1944. (Muñoz, et al., 2013; González, et al., 2005; González, et al., 2012; Tognetti et al., 2012). Es en 1976 que se declara Monumento Natural por su singular importancia como recurso biológico y cultural. Dicho título fue revocado en 1987, a petición de propietarios privados, permitiendo su tala, sin embargo, es en 1990 que se reinstala la categoría gracias a la organización de comunidades Mapuche – Pewenche (Carrillo, 2016). Desde esta fecha, es que las cicatrices por incendio identificadas en los anillos de los árboles de *Araucaria* disminuyen, pero no lo suficiente, ya que, en el año 2013, según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), es categorizada “en peligro de extinción” por incendios forestales y tala no regulada (Premoli et al., 2013). En la ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal N°20.283 del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) en el artículo 19 se prohíbe la corta de la *Araucaria*, con excepción para fines de investigación científica y sanitaria.

Los estudios enfocados en esta especie son locales y coincidentes en las áreas protegidas, como lo es el Parque Nacional Villarrica, Parque Nacional Conguillio, Parque Nacional Tolhuaca, sitios cercanos al volcán Lonquimay y Reserva Nacional China Muerta. Las investigaciones se relacionan sobre todo con la reacción de esta especie, frente a incendios forestales. Por ejemplo, González y Veblen (2006) observaron y mostraron que la baja disponibilidad de agua es el principal factor que influye sobre la ocurrencia de incendios. Sobre estos eventos se destacan los siniestros de Parque Nacional Tolhuaca y Reserva Nacional Malleco en el año 2002, y de Reserva Nacional China Muerta en el año 2015. En todos los casos se ha evidenciado una recuperación y resistencia gracias a su corteza y una respuesta reproductiva rápida por parte de sus semillas ante el estrés del fuego (Fuentes, 2018).

En el año 2017 se publica a través de un documento de asesoría técnica parlamentaria emitido por el Departamento de estudios, extensión y publicaciones, el extraño caso de enfermedad de origen desconocido sobre la *Araucaria*, agudizada en el año 2015 provocando daños en su copa y ramas con distinta severidad, conocido como Daño Foliar de la *Araucaria* (DFA), generando la mortalidad de árboles. En el año 2016 un 17.9% de los individuos se encontraban sanos, mientras que el 81.3% presenta algún grado de afectación y 0.8% muerto en los bosques adultos (CONAF, 2017). Ya para el año 2017, la cifra de individuos afectados y muertos aumentaron significativamente, identificando que la población vulnerable eran las especies con tamaño menor 1,3 metros de altura, según Aida Baldini de Corporación Nacional Forestal (CONAF). Para saber los orígenes de esta enfermedad se plantearon diversas hipótesis, una de ellas es señalada por

Balochchi et al (2021) realizando un análisis filogenético concluye que la causa aparente de la enfermedad es de un nuevo género y especie de hongo nativo descrito como *Pewenomyces kutranfy* gen. nov. et sp. nov. Sin embargo, es el efecto del cambio climático lo que facilita el proceso de invasión y agudiza el impacto de la enfermedad del cancro causada por *P. kutranfy* po, al estar relacionado con un aumento de las temperaturas invernales permitiendo que un patógeno nativo cause daños que antes no eran posibles.

Estos escenarios de perturbaciones en la Araucaria lleva a entender su valor botánico, ecológico, pero también el impacto cultural (religión, económico) y alimentario para los habitantes de la zona, en específico, al pueblo mapuche – pehuenche, quienes históricamente basan su subsistencia en actividades de cacería, pastoralismo y recolección de la semilla de la araucaria (el piñón) que ha formado parte central de su dieta básica a lo largo de la historia (Ibarra et al., 2010; Cockle et al., 2019; Herrmann, 2005, 2006; Barreau et al., 2016; Cortés et al., 2019).

Nothofagus: ensamblajes sucesionales y controladores de la dinámica del dosel

El género *Nothofagus* constituye el núcleo estructural de los bosques templados andinos del sur de Chile y Argentina, actuando como uno de los principales moduladores de la dinámica del dosel, la regeneración post-disturbio y el funcionamiento ecohidrológico del paisaje. Este linaje gondwánico, con una historia evolutiva que se remonta al Cretácico, ha experimentado múltiples expansiones y contracciones durante los ciclos glaciares del Cuaternario, determinando su distribución actual en rangos altitudinales y latitudinales estrechamente vinculados a temperatura, precipitación, disponibilidad lumínica y régimen de perturbaciones.

Las especies más representativas en el LNAS, *N. pumilio*, *N. dombeyi*, *N. betuloides* y *N. antarctica*, presentan estrategias contrastantes que permiten comprender la complejidad funcional del bosque:

i. **Nothofagus pumilio (lenga)**

La lenga domina los pisos altitudinales superiores, donde enfrenta temperaturas bajas, fuertes vientos y suelos someros desarrollados sobre tefra reciente. Esta especie presenta un marcado carácter deciduo, una fenología sincronizada con la estacionalidad lumínica y una alta dependencia de ventanas de disturbio como deslizamientos, caída de árboles, pulsos de tefra volcánica o incendios de baja severidad para establecer

cohortes de regeneración. Sus bosques conforman un tapiz altomontano clave para la retención de nieve, la regulación del deshielo y el control del escurrimiento superficial.

ii. *Nothofagus dombeyi* (coigüe)

En zonas más húmedas de media montaña, *N. dombeyi* conforma bosques densos, altos y de dosel cerrado que regulan la temperatura y la humedad del sotobosque. Su gran longevidad relativa, su tolerancia a suelos profundos de origen volcánico y su capacidad para interceptar grandes volúmenes de precipitación lo convierten en un pilar ecohidrológico del LNAS. El coigüe domina procesos de producción primaria, ciclado de nutrientes y estabilización de laderas, además de constituir un hábitat fundamental para aves, hongos ectomicorrícicos y una amplia diversidad de epífitas.

iii. *Nothofagus antarctica* (ñirre)

El ñirre es la especie más tolerante a condiciones de estrés, incluyendo baja fertilidad, frío extremo, anegamiento o sequía estacional. Funciona como un verdadero colonizador de bordes y de áreas perturbadas, estableciéndose rápidamente en claros producidos por viento, erupciones volcánicas o incendios. Su plasticidad morfológica, desde formas arbustivas hasta árboles de porte medio, le permite ocupar microhábitats contrastantes, actuar como especie nodriza y facilitar la sucesión secundaria.

El conjunto de especies del género *Nothofagus* actúa como un modulador estructural y funcional del bosque templado andino, dado que regula la dinámica del dosel mediante ciclos de apertura y cierre que controlan la disponibilidad de luz, influye en la estructura y fertilidad del suelo a través del aporte constante de hojarasca en sistemas volcánicos de baja disponibilidad de nutrientes, y sostiene la conectividad biogeográfica al formar corredores altitudinales y latitudinales que facilitan el flujo genético y el desplazamiento de especies asociadas. Su capacidad para colonizar claros y áreas perturbadas, como zonas afectadas por tefra, incendios o deslizamientos, los convierte en motores de la regeneración y la sucesión ecológica, mientras que su influencia sobre el balance hídrico, al regular la interceptación de precipitaciones, la retención de nieve y la infiltración en suelos porosos, contribuye de manera decisiva a la estabilidad ecohidrológica del paisaje. Sin embargo, estas funciones se ven crecientemente tensionadas por el cambio climático, que induce respuestas diferenciales entre especies: *N. pumilio* muestra desplazamientos altitudinales hacia cotas superiores, *N. dombeyi* evidencia estrés hídrico en áreas sometidas a sequías prolongadas, y *N. antarctica* tiende a expandirse hacia ambientes actualmente ocupados por turberas o herbazales. Estas redistribuciones

potenciales alteran la estructura del mosaico sucesional, modifican la disponibilidad de hábitats y pueden desencadenar cambios profundos en la funcionalidad del bosque, afectando su resiliencia frente a perturbaciones futuras.

Fitzroya cupressoides: longevidad extrema y archivo climático de alta resolución

Otra especie longeva y con características particulares en su historia evolutiva y dinámica, es la conífera *Fitzroya cupressoides* (Alerce), una especie endémica de los bosques templados del sur de Sudamérica y llegando a tener una esperanza de vida máxima de >3600 años (Lara y Villalba, 1993). Según los registros de polen y glaciación, esta especie registra una rápida expansión y contracción en diferentes etapas desde la última glaciación, mencionando una distribución frondosa desde los 39° hasta los 43°S. Su distribución actual en Chile es de forma disyuntiva, distinguiendo dos parches, uno localizado a los 40°S de la Cordillera de la Costa, y un segundo localizado dentro del territorio LNAS en la zona costera andina de las comunas de Puerto Montt, Cochamó, Hualaihué y Chaitén, en áreas de elevaciones de 100–1200 msnm, y con precipitaciones que varía de 2000 a más de 4000 mm de precipitación media anual (Veblen y Schlegel, 1982). La causa de esta discontinuidad es netamente por origen antrópico, específicamente quema y despeje de bosque para aprovechamiento agrícola ocurrido desde fines del siglo XV, y desde el siglo XVIII como actividad maderera forestal al ser caracterizada como una madera de gran belleza y durabilidad, llegando a extinguirse completamente en el fiordo de Reloncaví y posteriormente en la zona intermedia de Llanquihue y Puerto Montt en el siglo XIX por los procesos de colonización (Neira y Lara, 2000; Urbina, 2011; Donoso et al, 1990). Fue en 1976 cuando declararon esta especie como Monumento Natural prohibiendo totalmente su tala, y posteriormente en 1982 cuando quedó bajo la protección del Parque Nacional Alerce Andino, localizado por la zona andina de la comuna de Puerto Montt, donde se observa la mayor densidad de individuos (Donoso, et al., 1993; Allnutt, et al., 1999). Actualmente está catalogada como peligro de extinción en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (UICN, 2013).

Son pocos los estudios enfocados en esta especie, y lo que se ha desarrollado trata en evaluar el alcance de su variación genética, el cambio de su distribución espacial y sus proyecciones futuras, considerando los efectos actuales del cambio climático, considerando que es una conífera de gran tamaño y altura, lo que representa un enorme potencial para el secuestro y almacenamiento de carbono a largo plazo en condiciones

inalteradas (Premoli, et al., 2000; Premoli y Veblen., 2001; Urrutia, et al., 2013; Urrutia, et al., 2015). Estos estudios están localizados principalmente en el Parque Nacional Alerce Andino, Parque Nacional Pumalín y Reserva Nacional Llanquihue, sitios SNASPE localizados en el territorio de LabNat (Heusser & Flint, 1997; Heusser, 1981; Markgraf, 1983, 1984, 1991; Villagrán, 1985, 1988, 1991; Villagrán & Armesto, 1993)

Los bosques de Araucarias, *Nothofagus* y alerces cumplen funciones ecológicas difíciles de reemplazar: sustentan redes tróficas, regulan ciclos biogeoquímicos, estabilizan suelos volcánicos y actúan como indicadores biológicos de la variabilidad climática. Su pérdida afectaría la integridad del bosque templado y la resiliencia del socio-ecosistema del LNAS, subrayando la necesidad de estrategias de conservación basadas en evidencia científica, monitoreo de amenazas emergentes y restauración ecológica a escala de paisaje.

4.4 Ensamblajes faunísticos de montaña: biodiversidad, adaptaciones y funciones ecológicas en bosques templados andinos

La fauna de montaña del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS) constituye un conjunto diverso de vertebrados y macroinvertebrados altamente especializados, cuya distribución, comportamiento y dinámica poblacional están fuertemente influidos por gradientes altitudinales, microclimas extremos y la estructura vertical de los bosques templados. Estos ensambles cumplen funciones ecológicas esenciales, desde la dispersión de semillas y el control trófico hasta la regulación de procesos ecosistémicos vinculados a la regeneración del bosque y la estabilidad de las redes alimentarias.

- **Aves de sotobosque y dosel: dispersores, polinizadores y centinelas del cambio ambiental**

Los bosques montanos andinos albergan una avifauna distintiva que incluye especies endémicas, migratorias altitudinales y residentes permanentes. Entre las especies más representativas se encuentran el chucao (*Scelorchilus rubecula*) y el huet-huet (*Pterotochos tarnii*), aves del sotobosque adaptadas a ambientes húmedos y densos, que cumplen un rol crucial en la remoción de hojarasca y el control de invertebrados, además de funcionar como indicadores de integridad del hábitat. En estratos superiores destacan el rayadito (*Aphrastura spinicauda*) y el comesebo grande (*Pygarrhichas albogularis*), ambos asociados a cavidades y troncos de árboles añosos, lo que convierte a los bosques maduros en hábitats esenciales para su reproducción. Por su parte, especies como el picaflor rubí (*Sepehnoidea sepehniodes*) cumplen funciones de polinización en ambientes donde los insectos disminuyen por condiciones frías o

húmedas, subrayando la importancia de los mutualismos planta-ave en ecosistemas de alta montaña.

- **Mamíferos nativos: ingenieros del paisaje y moduladores tróficos**

Entre los mamíferos destacan el pudú (*Pudu puda*), uno de los cérvidos más pequeños del mundo, cuya dieta selectiva contribuye al manejo natural del sotobosque, y el monito del monte (*Dromiciops gliroides*), marsupial relictos considerado un fósil viviente del linaje gondwánico, que desempeña un rol insustituible como dispersor primario de semillas de la enredadera *Tristerix corymbosus*. Este mutualismo es clave para la regeneración del bosque y constituye uno de los ejemplos más emblemáticos de coevolución en los bosques templados de Sudamérica. En zonas más abiertas o disturbadas se observa la presencia del zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y del zorro chilla (*Lycalopex griseus*), depredadores generalistas que regulan poblaciones de pequeños mamíferos y aves, contribuyendo al equilibrio trófico.

- **Anfibios y reptiles: especies sensibles a microclimas y perturbaciones**

Los bosques templados andinos albergan una herpetofauna altamente sensible a cambios en humedad, temperatura y calidad del hábitat. Destacan especies endémicas como la ranita de Darwin (*Rhinoderma darwinii*), reconocida por su estrategia reproductiva única —el cuidado paternal bucal— y catalogada en peligro de extinción debido a la fragmentación del hábitat, enfermedades emergentes como la quitridiomycosis y el cambio climático. Entre los reptiles, el lagarto chileno de montaña (*Liolaemus pictus*) muestra adaptaciones fisiológicas a temperaturas frías y ciclos lumínicos estacionales, ocupando claros y bordes del bosque donde la radiación solar es más intensa.

- **Macroinvertebrados y polinizadores: pequeños organismos, grandes funciones**

Los macroinvertebrados, particularmente coleópteros, lepidópteros y dípteros, cumplen funciones esenciales como descomponedores y polinizadores. El abejorro chileno (*Bombus dahlbomii*), polinizador nativo clave, ha experimentado un declive severo debido a la competencia y patógenos introducidos por el abejorro europeo (*Bombus terrestris*). Esta disminución afecta directamente la reproducción de plantas nativas dependientes de polinización especializada, alterando procesos de regeneración y

composición del sotobosque.

- **Función ecológica e implicancias para la conservación**

En conjunto, los ensambles faunísticos de la montaña conforman una red funcional compleja que sostiene procesos clave del ecosistema, como la dispersión de semillas, el control de herbívoros, la polinización, la regulación del ciclo de nutrientes y la estructuración del sotobosque. Su vulnerabilidad ante el cambio climático, la fragmentación del hábitat y la expansión de especies exóticas exige enfoques integrados de conservación que contemplen la conectividad altitudinal, la protección de bosques maduros y el monitoreo de especies sensibles, lo que resulta fundamental para mantener la resiliencia del bosque templado andino frente a perturbaciones crecientes.

- **Variabilidad climática contemporánea y riesgos emergentes para los bosques templados andinos**

El Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS) se encuentra en una de las regiones más dinámicas del planeta en términos climáticos, donde la interacción entre la circulación atmosférica del Pacífico Sur, la orografía andina y los patrones oceánicos determina una marcada variabilidad interanual y decadal. Durante las últimas décadas, esta variabilidad se ha intensificado debido al cambio climático, generando alteraciones profundas en los regímenes de precipitación, la cobertura nival, la frecuencia de eventos extremos y la estabilidad de los ciclos hidrológicos. Comprender estos cambios es fundamental para anticipar sus impactos sobre la estructura, la función y la resiliencia de los bosques templados.

Tendencias observadas: menos nieve, mayor variabilidad y sequías prolongadas

Los registros meteorológicos y las modelaciones regionales indican un descenso sostenido en la precipitación sólida, especialmente en cotas medias y altas, junto con una mayor frecuencia de inviernos cálidos. Esta transición desde un sistema dominado por acumulación nival hacia uno más pluvial altera el momento y la magnitud del deshielo, afectando la disponibilidad estacional de agua en cuencas abastecidas por bosques de montaña. Paralelamente, la disminución de precipitaciones anuales y la mayor intensidad de eventos secos asociados a fases cálidas del ENSO han ampliado la

duración de las sequías, con impactos visibles en la fisiología de especies como *Nothofagus dombeyi* y *Araucaria araucana*, que muestran indicadores de estrés hídrico en sus anillos de crecimiento.

Eventos extremos: tormentas cálidas, olas de calor e incendios de alta severidad

El aumento en la frecuencia de tormentas cálidas, episodios de lluvia intensa sobre una base nival reducida, incrementa el riesgo de crecidas súbitas, remociones en masa y erosión acelerada, especialmente en laderas jóvenes de origen volcánico. Asimismo, las olas de calor estivales, cada vez más frecuentes, elevan la inflamabilidad del paisaje y pueden transformar áreas históricamente dominadas por incendios de baja severidad en escenarios propensos a incendios de alta intensidad. Esto afecta de manera particular a especies longevas y de crecimiento lento como el alerce, la araucaria y *Nothofagus pumilio*, que poseen regeneración limitada frente a eventos extremos.

Efectos ecológicos: estrés fisiológico, desfases fenológicos y cambios en la estructura del bosque

El cambio climático no solo altera el balance hídrico y la dinámica de incendios, sino que induce respuestas fisiológicas que repercuten en la estructura y la funcionalidad del bosque. Se han documentado desfases en procesos de floración, fructificación y brotación, lo que puede desincronizar interacciones ecológicas críticas como la polinización, la dispersión de semillas o la disponibilidad de recursos para la fauna. Además, la reducción de la humedad edáfica y el aumento de las temperaturas impulsan el desplazamiento altitudinal de ciertos taxones y la expansión de especies más tolerantes al estrés, como *N. antarctica*, reconfigurando gradualmente el mosaico forestal.

Riesgos proyectados y desafíos para la gestión del LNAS

Los escenarios climáticos futuros proyectan una intensificación de estos patrones, con menor acumulación de nieve, mayor recurrencia de sequías, incremento de incendios extremos y mayor inestabilidad en los regímenes hidrológicos. Para el LNAS, estos cambios representan desafíos significativos en términos de conservación, restauración y planificación territorial. Será crucial implementar programas de monitoreo climático de alta resolución, evaluar la sensibilidad de especies clave y desarrollar estrategias de manejo adaptativo que integren cuencas, elevación y conectividad ecológica, con el fin

de fortalecer la resiliencia del paisaje.

- **Desafíos de conservación y manejo adaptativo en los bosques templados andinos del LNAS**

La conservación de los bosques templados andinos del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS) se enfrenta hoy a un conjunto de presiones crecientes que interactúan entre sí, amplificando su impacto sobre la estructura, la funcionalidad y la resiliencia de los ecosistemas. Estas amenazas incluyen procesos históricos de degradación, fragmentación del paisaje, especies exóticas invasoras, incendios de mayor severidad, presión antrópica en zonas de interfaz urbano–rural y los efectos acelerados del cambio climático. En este contexto, la gestión del territorio requiere transitar desde enfoques centrados exclusivamente en la protección estática hacia estrategias de manejo adaptativo, basadas en evidencia científica, monitoreo continuo y una comprensión profunda de las dinámicas ecológicas multiescala.

Fragmentación y pérdida de conectividad ecológica

La fragmentación del hábitat derivada de usos productivos, infraestructura vial y expansión urbana genera una reducción significativa en la conectividad altitudinal y latitudinal, afectando procesos esenciales como la dispersión de especies, el flujo génico y los movimientos estacionales de fauna. Esta pérdida de continuidad del paisaje limita la capacidad de las especies para responder a cambios ambientales, especialmente aquellas dependientes de corredores boscosos maduros, como el monito del monte o aves especialistas del sotobosque. La restauración de conectividad funcional, mediante corredores ribereños, mosaicos de regeneración nativa y protección de remanentes antiguos, emerge como una prioridad para asegurar la resiliencia ecológica a largo plazo.

Incendios forestales y vulnerabilidad del paisaje

Si bien el fuego ha sido históricamente un disturbio relativamente infrecuente en los bosques templados del sur de Chile, los escenarios actuales muestran un aumento en la frecuencia y severidad de incendios, exacerbado por sequías prolongadas, olas de calor y acumulación de material combustible. Especies como la araucaria, el alerce y *Nothofagus pumilio*, todas de regeneración lenta, presentan una alta sensibilidad a incendios extremos. La gestión del riesgo requiere integrar planificación territorial, reducción estratégica de combustibles en zonas de interfaz, monitoreo en tiempo real y estrategias de restauración posincendio basadas en la regeneración natural asistida y la

protección de suelos volcánicos vulnerables a erosión.

Especies exóticas invasoras y presiones bióticas emergentes

La presencia y expansión de especies exóticas invasoras, como el visón americano (*Neogale vison*), ciervos introducidos y el abejorro europeo (*Bombus terrestris*), generan alteraciones profundas en las redes tróficas y en las interacciones ecológicas. Estos impactos incluyen depredación de fauna nativa, competencia por recursos, transmisión de patógenos y desplazamiento de polinizadores esenciales como *Bombus dahlbomii*. A ello se suman enfermedades emergentes, como la quitridiomycosis en anfibios, y hongos patógenos que afectan a especies arbóreas clave. La respuesta requiere fortalecer la vigilancia epidemiológica, implementar programas de control selectivo de invasoras y desarrollar estrategias de restauración que favorezcan especies nativas con capacidad de resistencia y respuesta adaptativa.

Cambio climático y necesidad de manejo adaptativo

El cambio climático actúa como un modulador transversal que intensifica las presiones existentes y genera nuevos escenarios de vulnerabilidad. Las proyecciones indican una reducción sostenida de la precipitación nival, mayores extremos térmicos, eventos de lluvia cálida y una mayor incidencia de sequías estacionales. Frente a estos cambios, los enfoques tradicionales de conservación resultan insuficientes. Se requiere un manejo adaptativo, con modelos predictivos que integren información climática de alta resolución, estudios de sensibilidad de especies y monitoreo ecohidrológico continuo. Este enfoque debe permitir ajustar medidas de protección y restauración en función de umbrales ecológicos, promover una gestión ecosistémica flexible y reforzar la conectividad como eje central para facilitar el movimiento y la persistencia de especies en un clima cambiante.

Participación comunitaria y gobernanza socioecológica

El LNAS es un territorio donde convergen áreas protegidas, comunidades locales, actividades productivas sustentables y espacios con alto valor cultural. La conservación efectiva requiere un modelo de gobernanza que incorpore a comunidades indígenas, residentes rurales, organizaciones locales y entidades estatales en procesos participativos de toma de decisiones. El fortalecimiento de prácticas de uso tradicional compatible con la conservación, la educación ambiental y la investigación abierta permiten articular un enfoque socioecológico integrador que potencie la

corresponsabilidad

territorial.

- **Síntesis ecológica y proyecciones para la resiliencia del bosque templado andino**

Los bosques templados andinos del Laboratorio Natural Andes del Sur (LNAS) representan uno de los sistemas ecológicos más singulares del planeta, definidos por la interacción entre suelos volcánicos jóvenes, una historia de perturbaciones geológicas recurrentes, gradientes climáticos complejos y una biota con profundas raíces evolutivas. A lo largo del capítulo se evidencia que estos ecosistemas funcionan como unidades dinámicas, donde especies estructurales como *Araucaria araucana*, *Fitzroya cupressoides* y diversas especies del género *Nothofagus* cumplen roles determinantes en la regulación de procesos biogeoquímicos, el control del microclima, la estabilización de suelos y el sostenimiento de redes tróficas altamente especializadas. La fauna asociada, desde marsupiales relictos hasta aves del sotobosque y polinizadores nativos, expresa niveles excepcionales de endemismo y adaptación, subrayando la importancia de mantener la integridad funcional del bosque y su conectividad altitudinal y latitudinal. No obstante, la convergencia de presiones contemporáneas, como el cambio climático, la fragmentación del hábitat, los incendios de mayor severidad y la expansión de especies invasoras, amenaza la resiliencia histórica de estos sistemas. La disminución sostenida de la precipitación nival, la intensificación de sequías, el aumento de eventos extremos y la alteración de la fenología de especies clave sugieren que el paisaje está transitando hacia nuevos estados ecológicos, cuyos efectos sobre la biodiversidad, el ciclo hidrológico y la productividad pueden ser profundos y persistentes. Estos cambios demandan una transición hacia esquemas de manejo adaptativo que integren monitoreo continuo, modelación climática, restauración basada en procesos y protección de corredores ecológicos que faciliten la respuesta adaptativa de la biota.

En este contexto, el LNAS emerge como un laboratorio natural vivo, donde es posible comprender la interacción entre legado geológico, dinámica ecológica y cambio ambiental contemporáneo. Su valor estratégico radica no solo en la biodiversidad que alberga, sino también en su capacidad para generar conocimiento científico que guíe la toma de decisiones y fortalezca estrategias de conservación multiescala. Avanzar hacia un modelo de gobernanza socioecológica, que incorpore a comunidades locales, instituciones públicas, investigadores y actores productivos, resulta esencial para asegurar que los bosques templados andinos mantengan su capacidad de adaptación,

amortiguación y provisión de servicios ecosistémicos frente a escenarios futuros inciertos. La protección y gestión informada de este territorio no solo garantizan la persistencia de un patrimonio biológico irremplazable, sino que también contribuyen a la resiliencia y bienestar de las sociedades que dependen de sus paisajes y recursos.

- **Variables territoriales de referencia del bosque nativo de montaña**

El bosque nativo del LNAS se analiza a partir de cuatro dimensiones complementarias que permiten caracterizar sus patrones espaciales, su organización interna, su relevancia para la conservación y su estado frente a perturbaciones recientes. Estas dimensiones estructuran un conjunto de variables que operan como insumos para el monitoreo y la interpretación de los gradientes de bosques templados desarrollados en los capítulos siguientes.

Marco biogeográfico y ecológico general

Dentro del marco de la dimensión biogeográfica y ecológica general, el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur se organiza en la ecorregión de Bosques Templados Valdivianos, que estructura la distribución del bosque nativo y condiciona su composición y funcionamiento que serán explicados en los siguientes capítulos. La distribución del bosque por piso vegetal y por comuna permite identificar gradientes espaciales relevantes para la comprensión de los bosques templados andinos, así como su expresión territorial en distintas unidades administrativas y ecológicas.

En cuanto a los pisos vegetacionales existen 7 clasificaciones, correspondiente a Bosque caducifolio (42% de la superficie del LNAS), Bosque siempreverde (23%), Bosque laurifolio (11,4%), Bosque resinoso (11%), Matorral bajo de altitud (7,7%), Herbazal de altitud (2,4%), Matorral caducifolio (1,2%) y Sin vegetación (0,1%).

Tabla 4. Distribución del bosque nativo según marco biogeográfico y ecológico.

Variable	Unidad territorial	Superficie asociada (km ²)	Proporción según unidad territorial (%)
Distribución del bosque nativo por piso vegetal de Luebert y Pliscoff	Bosque caducifolio	12815,5	52
	Bosque laurifolio	2847,9	46
	Bosque resinoso	4298,8	73
	Bosque siempreverde	9942,7	80

	Herbazal de altitud	222,9	17
	Matorral baja altitud	828,8	20
	Matorral caducifolio	339,6	49
Distribución del bosque nativo por comuna	Collipulli	381,1	29,4
	Ercilla	72,1	14,4
	Victoria	181,2	14,4
	Lautaro	144,6	16
	Curacautín	942,4	56,6
	Lonquimay	1912,2	48,8
	Melipeuco	588,6	53,7
	Vilcún	447,4	31,4
	Cunco	845,,7	44
	Villarrica	463,8	35,9
	Pucón	810,04	64,8
	Curarrehue	862,9	73
	Panguipulli	2166,9	65,8
	Los Lagos	870,4	48,6
	Río Bueno	746,02	33,7
	Futrono	1443,07	68
	Lago Ranco	972,7	55,1
	Puyehue	685,6	42,9
	Frutillar	112,1	13,49
	Llanquihue	67,9	16,1
	Puerto Octay	748,8	41,6
	Puerto Montt	1033,8	61,7
	Puerto Varas	2395,5	58,9
	Cochamó	2715,09	69,4
	Chaitén	5867,03	69,2
	Hualaihue	1924,1	69
	Futaleufú	647,8	50,6
	Palena	1483,7	53,7

Estructura ecológica del bosque

La estructura ecológica del bosque nativo describe la organización interna de las formaciones vegetacionales y tipos forestales, así como su condición estructural, variables fundamentales para interpretar la complejidad, continuidad y estado de los bosques templados.

Tabla 5. Variables de estructura ecológica del bosque nativo.

Variable	Categoría	Superficie (km2)	Proporción al territorio LNAS (%)
Distribución de formaciones vegetacionales	Bosque Laurifolio de Los Lagos	8053,9	14,2
	Bosque Caducifolio Altoandino Húmedo	6023,3	10,6
	Bosque Caducifolio del Sur	6331,7	11,1
	Bosque Caducifolio Mixto de la Cordillera	6004,4	10,6
	Bosque Siempreverde de Chile	5395,6	9,5
	Bosque Caducifolio Altoandino con Araucaria	5750,2	10,1
	Bosque Siempreverde de Puyuhuapi	4053,6	9,5
	Bosque Caducifolio de Aysén	3343,8	5,9
	Bosque Siempreverde Andino	3325,6	5,8
	Bosque Laurifolio Andino	2602,9	14,2
	Bosque Siempreverde Montaña	2227,08	3,9
	Matorral Patagónico con Araucaria	1556,3	2,7
	Matorral Caducifolio Altamontaña	934,4	1,6
	Bosque Caducifolio Andino del Bio Bio	860,5	1,5
	Bosque Patagónico con Coníferas	173,06	0,3
Distribución de tipos forestales	Alerce	1590	3
	Araucaria	1717	3,2
	Ciprés de las Guaitecas	100	0,1
	Coihue-Raulí- Tapa	6996	13,2
	Coihue de Magallanes	1202	2,2
	Esclerófilo	10	0,02
	Lenga	7887	14,9
	Roble- Raulí- Coihue	6378	12
	Siempreverde	5388	10,1
Estado estructural del bosque	Ciprés de la Cordillera	315	0,5
	Adulto	15978	30,2
	Renoval	8661	16,3
	Achaparrado	4322	8,1
	Adulto - Renoval	2623	4,9

Estas variables permiten evaluar el grado de madurez, heterogeneidad y alteración del bosque, constituyendo indicadores clave para el seguimiento de los bosques templados del LNAS.

Valor de conservación y elementos singulares del bosque

El valor de conservación del bosque nativo se expresa a través de su cobertura bajo distintas figuras de protección y por la presencia de especies y formaciones de alto valor ecológico y patrimonial, las cuales aportan singularidad al territorio del LNAS.

Tabla 6. Variables de conservación y elementos singulares del bosque (valores referenciales)

Variable	Categoría	Superficie (km ²)	Proporción a territorio LNAS (%)
Cobertura bajo conservación pública	Área de conservación de Múltiples Usos	4,1	0,007
	Monumento Natural	2	0,003
	Parque Nacional	20474	35
	Reserva Nacional	3950	7
	Santuario de la Naturaleza	3082	5,8
Cobertura bajo conservación privada	Iniciativas privadas	1586,73	3
Presencia de <i>Araucaria araucana</i>	Área con presencia	1717,3	3,2
Presencia de <i>Fitzroya cupressoides</i>	Área con presencia	1590,5	3

Estas variables permiten identificar sectores prioritarios para la conservación y contextualizar el valor ecológico de los bosques templados en el marco del LT2.

Perturbaciones, dinámica y estado del bosque

La dimensión de perturbaciones y dinámica del bosque aborda los principales procesos que afectan su estado y evolución reciente, constituyendo variables esenciales para interpretar cambios en la cobertura y condición de los bosques templados.

Tabla 7. Variables de perturbaciones y dinámica del bosque

Variable	Indicador	Magnitud
Superficie de bosque nativo afectada por incendios forestales ocurridos desde 2011 a 2024	Área afectada	118,32 km ²
Frecuencia de incendios forestales en bosque nativo	Número de incendios (2011-2023)	163

Cambio de uso de suelo sobre bosque nativo entre 1999 a 2024	Superficie con Transiciones de cobertura forestal o áreas naturales no forestales a áreas agrícolas o sin vegetación + Áreas correspondientes a bosques primarios que, debido a perturbaciones naturales o antrópicas, han sido degradados y convertidos en bosques secundarios.	2263,52 km ²
--	--	-------------------------

Estas variables permiten evaluar presiones recientes y tendencias de cambio que inciden directamente en la estructura y funcionalidad del bosque nativo.

3. Laboratorio temático Modos de Vida y habitar de montaña

Los Andes del sur de Chile se emplazan en un paisaje volcánico habitado por 832.389 personas (INE, 2024) donde se expresa un patrimonio cultural y natural único, caracterizado por su multiculturalidad mapuche, pewenche, williche, campesina, colona, gaucha y migrante. Las relaciones recíprocas que han cultivado estos diferentes grupos

humanos con volcanes activos, bosques templados, cuencas hidrográficas, plantas, hongos y distintos microorganismos que lo habitan, configuran un paisaje y memoria biocultural heterogénea, compleja y de gran singularidad.

Ha actuado como refugio que ha permitido salvaguardar y dar continuidad a modos de vida caracterizados por el desarrollo de prácticas bioculturales asociadas al cultivo de huertas, forestería, trashumancia, crianza animal y recolección de productos forestales no madereros, los cuales, cumplen un rol clave en la soberanía y seguridad alimentaria local y nacional (Bello, 2014; Marchant et al, 2020; Ibarra et al, 2022). Asimismo, es considerado como un refugio frente a procesos históricos y contemporáneos asociados al desplazamiento forzado de comunidades en periodos de colonización hispana y chilena, modernización agrícola y continua expansión del modelo neoliberal (Silva, 2021; Silva, 2024; Melín et al, 2017). Lo anterior, junto con procesos de degradación socioambiental y cambio global, han desencadenado transformaciones aceleradas en las formas de habitar estos territorios. Adicionalmente, han generado diversos conflictos socioambientales derivados de la diferencia de intereses y propósitos en el uso y/o gestión del territorio (Alfaro, 2016; Skewes et al., 2012). Lo anterior, vinculado al acceso y gestión de bienes comunes, reivindicaciones territoriales, proyectos energéticos, expansión de la industria turística y forestal, entre otros.

3.1. Representaciones, imaginarios y paisajes transfronterizos

La cordillera de los Andes emerge como un eje central en múltiples representaciones e imaginarios territoriales. Por un lado, su función articuladora del espacio nacional se fundamenta en su presencia longitudinal y en su consolidación como límite fronterizo entre Chile y Argentina (Lacoste, 2020; Louis, 2010; Núñez, 2013). Por otro, la movilidad histórica transfronteriza evidencia su papel como espacio de conexión geográfica y cultural entre los diversos grupos humanos que habitan la región. Entre ellos destacan los pueblos mapuche-pewenche y williche, cuya relación ancestral con la cordillera incluye una percepción sacralizada del paisaje (Bello, 2014; Davies, 2019; Huiliñir, 2015; Marchant, 2019), así como gauchos, campesinos, colonos y migrantes, quienes con el tiempo han cultivado modos de vida asociados al habitar de montaña.



Figura 22: Volver al país de los Araucanos. Fuente: Mandrini, R; Ortelli, S (1992)

• Expresiones culturales del habitar de montaña:

El territorio de Los Andes del Sur forma parte del Wallmapu, territorio ancestral que abarca el sur de Argentina y Chile y que ha sido habitado históricamente por el pueblo mapuche. Este espacio se organiza según el melixiwanmapu, sistema territorial mapuche que, antes de la ocupación española, se dividía en las zonas del Puelche, Pikunche, Guluche y Williche, donde la cordillera de Los Andes funcionaba como el principal nexo entre el Puelmapu y el Gulumapu. Sin embargo, las transformaciones derivadas de la colonización europea y posteriormente chilena modificaron la delimitación del Wallmapu, dando lugar a la estructura actual, compuesta por los fütamalpu Pewenche, Wenteché, Nagche y Lafkenche (Melin, Mansilla & Royo, 2016; Mouliant & Espinoza, 2018).

En la cosmovisión mapuche, diversos elementos evidencian la importancia de las montañas, destacando el relato fundacional de Treng-Treng y Kai-Kai (Tilley, 2016). Este mito no solo explica el origen cosmogónico de volcanes y montañas, sino que también revela el papel de la cordillera de los Andes como refugio histórico y contemporáneo ante los desplazamientos forzados del pueblo mapuche desde las tierras bajas.

Este mismo relato fundacional explica el origen de los cerros Trentren y Kaikai. El primero se asocia a colinas que albergan culebras Trentrén, protectoras de los seres humanos, mientras que el segundo está representado por la serpiente Kaikai, causante de inundaciones. En la cordillera de los Andes se identifican cuatro cerros Trentren y dos Kaikai, localizados en zonas lacustres como el lago Ranco, el paso fronterizo Tromén y el lago Lácar. Estos sitios se vinculan con relatos sobre tripanko (lahares volcánicos) y destacan por su proximidad a cuerpos de agua (Bastías-Curivil, 2022).

Esta relación con el territorio ha configurado una geografía sagrada, donde elementos naturales como los mawizantu (montañas), wigkul (cerros y volcanes) y leufu (ríos) - entre los que destacan el Kaxún, Malleko y Rawe (Melin et al., 2016) - adquiere un profundo significado cultural. Particularmente, la cordillera se erige como espacio sacralizado: representa tanto el umbral hacia el Puelmapu como el lugar donde nace el sol (*antü). Esta dualidad sagrada se manifiesta en prácticas rituales como el nguillatún y en la orientación espacial de las rucas hacia el este, reflejando su trascendencia en la vida cotidiana y ceremonial (Bello, 2014).

Por último, el ko (agua) constituye un elemento central en la cosmovisión mapuche. En los territorios cordilleranos, se manifiesta a través de diversas formas: lafken (lagos, leufu (ríos), menoco (agua subterránea), mallines (pantanos), hualves (humedales, catrico (ríos subterráneos) trayen (cascadas) y witrunko (corrientes de esteros), entre otras. Particularmente, los witrunko son esenciales para la celebración del wetripantu (año nuevo mapuche), al igual que ciertos lafken como el lago Neltume, considerado sagrado por concentrar la energía y los espíritus de múltiples cursos de agua (Skewes et al., 2012)

La presencia de colonos europeos y chilenos en el LNADS responde a las políticas estatales de colonización implementadas entre los siglos XIX y XX, particularmente mediante la Ley de Colonización de 1845 y posteriores decretos que incentivaron el poblamiento de territorios australes (Pinto, 2003). Estos procesos se focalizaron estratégicamente en las zonas llanas adyacentes a lagos y ríos, áreas privilegiadas por su potencial agrícola, disponibilidad de recursos naturales y extensas superficies de bosque nativo (Vergara & Mellado, 2018; Correa, 2021) .

El patrón colonizador se desarrolló mediante sucesivas oleadas migratorias coordinadas por el Estado: inicialmente en la Provincia de Llanquihue (con colonos alemanes a partir de 1852) y territorios de La Araucanía (tras la Ocupación de la Araucanía, 1861-1883), para posteriormente extenderse hacia la Patagonia Norte durante el siglo XX, con focos específicos en Puelo, Cochamó y Futaleufú (Baeza, 2011) .

isla de Chiloé. Su poblamiento fue espontáneo y asociado principalmente a la explotación de la madera de alerce para la construcción de embarcaciones y casas. De esta forma, potenció el desarrollo de una economía forestal a nivel nacional, que implicó el surgimiento de poblados temporales y aserraderos en las comunas de Cochamó, Hualaihué, Chaitén (Freddi, 2022; Quintanilla, Cadiñanos & Lozano, 2008).

- **Territorio de patrimonios y paisajes bioculturales:**

Por otra parte, las singularidades asociadas a fenómenos históricos, expresiones culturales y paisajes bioculturales han motivado el desarrollo de procesos de patrimonialización en los Andes del Sur de Chile, las cuales, a través de diversas instituciones buscan reconocer y valorar estos atributos a través de la obtención de sellos internacionales y la declaración de bienes patrimoniales.

En este sentido, la madera emerge como una de las materialidades fundamentales del LNADS, lo que da cuenta de la relevancia de sus bosques y la relación de las comunidades locales con estos ecosistemas en donde la explotación maderera además de consolidar diversas formas de asentamiento, es representativa del patrimonio e historia local. Ejemplo clave es el caso del Complejo Forestal Maderero (COFOMAP), responsable de más de la mitad de la producción nacional de maderas de roble y raulí (Barrena et al. 2016). Corresponió a un proyecto social, económico y político asociado a la industria forestal, protagonizado por tres mil seiscientos obreros madereros que administraron un área superior a las 400.000 hectáreas mediante un esquema de comanejo entre el Estado y obreros forestales. Ilustra el auge productivo de la explotación maderera y el surgimiento de poblados de montañas, como también expone los procesos de acumulación por desposesión y violencia política asociada a la desintegración del COFOMAP posterior al golpe de Estado de 1973 lo que significó la desaparición de importantes poblados del cordón andino y el desplazamiento forzado de sus residentes. En la actualidad, Neltume alberga la mayor concentración de bienes patrimoniales del LNADS, todos ellos íntimamente vinculados al desarrollo histórico del Complejo Forestal Maderero. Estos bienes materializan tanto el legado productivo del complejo como los actuales procesos de memoria colectiva y reivindicación de derechos humanos impulsados por organizaciones comunitarias del territorio.

La alta ruralidad y la prevalencia de comunidades mapuche y campesinas en el territorio posicionan a la agricultura familiar no solo como una actividad productiva, sino también como una práctica cultural que sintetiza significados, trayectorias históricas y

conocimientos locales. Estos elementos reflejan la profunda relación entre las personas y el territorio andino, donde la interdependencia con el entorno natural es fundamental. En este contexto, el Territorio Cordillera Pehuenche (TCP) es escenario de diversas iniciativas locales e institucionales orientadas a revalorizar las prácticas bioculturales vinculadas a este socioecosistema. Dichas prácticas encarnan saberes ancestrales transmitidos intergeneracionalmente, entre los que destacan: (a) El cultivo de huertas de montaña; (b) Recolección de productos forestales no madereros; y (c) La trashumancia vinculada a la crianza de ganado.

3.2. Territorio de rezago y aislamiento

Los modos de vida en las montañas de Los Andes del Sur de Chile se sostienen en una historia de poblamiento, que si bien, se remonta a los vestigios de Monteverde, es considerada tardía en relación con la conformación y consolidación de sus principales ciudades y poblados.

Actualmente, en su extensión de 52.891 km² habitan aproximadamente 832.389 personas, quienes residen en las 47 ciudades y pueblos existentes, como también en diversos asentamientos rurales. Este último rasgo, caracteriza este territorio ya que presenta una ruralidad del 51,5%, la cual se expresa también, en las dimensiones productivas y socioculturales.

La fragmentada y diversa geografía de LNADS suponen un desafío para el habitar este territorio que se emplaza entre montañas, fiordos, lagos y ríos, por lo que no es de extrañar que la consolidación de los principales poblados fuese de forma tardía en comparación al resto del territorio nacional. Por esta misma razón, es que estos asentamientos se concentran principalmente en valles fluviales, bordes lacustres y zonas de baja montaña, las que oscilan entre los 250 y 1.000 msnm.

El poblamiento de esta región montañosa ha estado determinado por dos factores clave: su larga historia de ocupación —desde las comunidades prehispánica, misiones religiosas y llegada de colonos europeos y chilenos— y los ciclos económicos que atraieron población y definieron el surgimiento de asentamientos. Este proceso, lejos de ser estático, sigue vivo hoy mediante el turismo y la expansión de parcelaciones, reafirmando la constante transformación del territorio.

Cronología del poblamiento de Ciudades y Pueblos en Los Andes del Sur



Figura 24: Principales hitos históricos del poblamiento del LNADS. Fuente: Elaboración propia.

Los principales hitos del poblamiento de los Andes del Sur se remontan a los vestigios arqueológicos de la ocupación temprana de grupos humanos nómades y sedentarios en cercanía a pasos cordilleranos, ríos y lagos. El sitio arqueológico Monte Verde, que data de 14.500 años de antigüedad, es un caso representativo ya que concentra diversas investigaciones científicas sobre el uso temprano de tecnología ósea, lítica y artefactos de madera, asociados a las formas de vida temprana en el LNADS (Dillehay et al., 2015). Otros sitios de interés arqueológico en la Cordillera de Los Andes presentan arte rupestre en cercanía a pasos cordilleranos (Paso El León, Curarrehue), y en sectores asociados a la ocupación canoera tardía, como el Morro Vilcún. La interpretación de estos hallazgos se remonta a las movilidades transcordilleranas y a la existencia de vías recurrentes de tránsito entre grupos mapuches, huilliches, pehuenches, tehuelches (Castelleti, 2007; Moya et al., 2019).

De igual forma, destacan los estudios relacionados al uso de la obsidiana como recurso lítico, cuyas principales fuentes se asocian al volcán Chaitén y Sollipulli (Munita, Adán &

Mera, 2010; Muñoz-Morandé, Möller & Muñoz-Pedreros, 2013). Además, sobresale la singularidad en torno a los hallazgos de embarcaciones como Dalcas y Wampos, como las encontradas en el lago Chapo y lago Ranco que dan cuenta de la práctica de navegación en canoas en contextos lacustres. (Carabias et al., 2007).

La cordillera de los Andes se erige como el eje central del territorio ancestral Wallmapu. El habitar del pueblo mapuche en este extenso territorio se caracterizó por la movilidad transcordillerana, como puerta de entrada al Puelmapu (Argentina). La organización del territorio fue originalmente a través de los 4 Fütalmapus: Puelche, pikunche, guluche y williche. Dicha organización territorial fue modificada producto de la conquista española y por la posterior ocupación del territorio a finales del siglo XIX, procesos que dieron origen a los fütalmapu wenteche, pewenche y lafkenche, al oeste de la cordillera de Los Andes.

A escala local, la ocupación del territorio es a través de los *lofmapu*, espacios comunitarios de importancia social y cultural en el cual habitan diferentes comunidades indígenas (Melin et al., 2016).

En el LNADS, destaca la impronta heredada del periodo de conquista española, por medio de la fundación de ciudades como Villarrica. De igual forma, fue territorio de exploración y tránsito de Misioneros Jesuitas durante el siglo XVIII, quienes, por medio del levantamiento de misiones, sentaron bases para la conformación de futuros poblados.

Durante el siglo XIX el proceso de consolidación del Estado-Nación Chile a través de la ocupación militar de la Araucanía y la promulgación de la Ley de colonización y terrenos baldíos incentivó la llegada de inmigrantes europeos y chilenos al territorio. Su impronta, se ve reflejada en la fundación de ciudades como Llanquihue y Puerto Varas, emplazadas en llanos y cercanías de lagos y ríos, en donde el potencial agrícola permitía el desarrollo agroganadero.

Asociado a este proceso, destaca la figura de las reducciones territoriales y títulos de merced, que tal como señalan sus nombres, corresponde a la superficie de terreno resultante del despojo de tierras y desplazamiento que las comunidades mapuches enfrentaron durante el siglo XIX y XX en la ocupación militar y cívica de la Araucanía (Correa, 2021)

A su vez, una nueva ola de misiones católicas en el territorio adscribió la fundación de villas y poblados como Panguipulli y Curarrehue.

En el caso de la Patagonia Occidental, su cercanía a Chiloé forjó una histórica relación entre ambos territorios, que fue sustentada en la explotación forestal. De esta forma, durante el siglo XIX y XX la llegada de migrantes chilenos y europeos significó en un

principio el surgimiento de asentamientos temporales que luego se transformaron en permanentes (Urbina, 2011).

Cabe destacar, que este periodo histórico es representativo en el LNADS, en donde la extensa superficie de bosques posicionó a la madera como un recurso esencial en la economía nacional, contexto que impulsó la creación de diversos poblados de montaña (Mancilla & Silva, 2021)

Los territorios rurales del LNADS se enfrentan a nuevos fenómenos que expresan una actual dinámica poblacional de interés para la investigación científica. En este sentido, el desarrollo turístico ha impulsado dinámicas de expansión inmobiliaria, parcelaciones y llegada de nuevos residentes, configurando nuevos escenarios de transformación (Marchant & Rojas, 2015)

- **Territorios de aislamiento y conservación:**

La singular geografía de los territorios de montaña, lo tornan como un lugar aislado en términos de su difícil conectividad e integración (SUBDERE, 2019). Desde la perspectiva del habitar humano, amplia bibliografía científica expone y analiza las problemáticas asociadas al desarrollo local, gobernanza, infraestructura y acceso a servicios. Además, desde el ámbito institucional destaca el constante actuar de organismos del Estado en el desarrollo de políticas focalizadas que contribuyan a disminuir las desigualdades configuradas a partir de esta condición de aislamiento, por medio de diferentes proyectos de inversión.

Desde otra perspectiva, la condición de aislamiento se presenta como una oportunidad para la conservación ecológica y cultural. La alta naturalidad y biodiversidad posiciona al LNADS como un lugar indicado para iniciativas públicas y privadas de conservación, además de posicionarse como uno de los importantes destinos turísticos a nivel nacional. Es lugar propicio para el desarrollo científico en temáticas relacionadas a historia evolutiva, ecología dinámica, cambio climático, glaciares y recursos hídricos, como también en gestión de áreas protegidas (Hora, 2018), comodificación del paisaje (Hidalgo & Robles, 2022) y servicios ecosistémicos (Benra & Nahuelhual, 2019).

De igual forma, se articula con iniciativas de conservación adscritas a sellos internacionales como son las Reservas de la Biósfera Araucarias y Bosques templados lluviosos de los Andes Australes, Geoparque Kutralkura y el potencial Sistema Importante del patrimonio Agrícola Mundial Territorio Cordillera Pehuenche. Estos reconocimientos se materializan a través de diversos planes de acción que expresan un

enfoque de conservación biocultural y a la integración activa de las comunidades locales en la conservación dinámica de estos ecosistemas.

3.3. Economías divergentes y conflictos territoriales.

Las montañas de Los Andes del Sur de Chile y su paisaje influenciado por el volcanismo, las aguas y bosques propician un contexto singular en el que se desarrollan iniciativas económicas de escala local, nacional e internacional. Sin embargo, estos socio-ecosistemas son altamente frágiles ante intervenciones humanas intensivas, constituyendo un riesgo en la conservación de su valor ecológico y su distinción cultural. Área de frontera, de alta naturalidad, reservorios de agua y donde nacen las cuencas hidrográficas (Peña-Cortés, comunicación personal, 16 de enero 2023), son un territorio propicio para el estudio de los efectos de la implementación de diversos modelos de desarrollo que han moldeado el paisaje y la cultura que hoy vemos.

En ese sentido, destacan los estudios asociados a las transformaciones territoriales producidas por economías sustentadas en el uso del agua, entre las que destaca la industria hidroeléctrica y acuícola. Además, permite profundizar en investigaciones que desde la perspectiva institucional y de legislación ambiental asocian la concentración de este tipo de economías en el LNADS con el rol del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en un contexto nacional condicionado por la visión de este bien común, como un “bien económico” según el Código de Aguas de 1981 (Bustos-Gallardo & Prieto, 2019; González et al., 2021; Correa-Parra et al., 2020).

De forma similar, la expansión de la economía neoliberal asociada al crecimiento no regulado de la industria inmobiliaria y turística, posicionan la relevancia del paisaje cordillerano en la construcción de nuevos imaginarios, el incremento de economías terciarias en territorios rurales, además de su relación con nuevas dinámicas de cambio en el uso y propiedad de la tierra (Hidalgo & Zunino, 2011). Asimismo, la mercantilización de la naturaleza se expresa a través de nuevos mecanismos de gobernanza y filantropía ambiental que operan a escala global, como el caso emblemático de la Reserva privada de Huilo Huilo creada en el año 1994, la cual incluye alrededor de 100.000 hectáreas (De Matheus et al., 2018, Huiliñir-Curío et al., 2019).

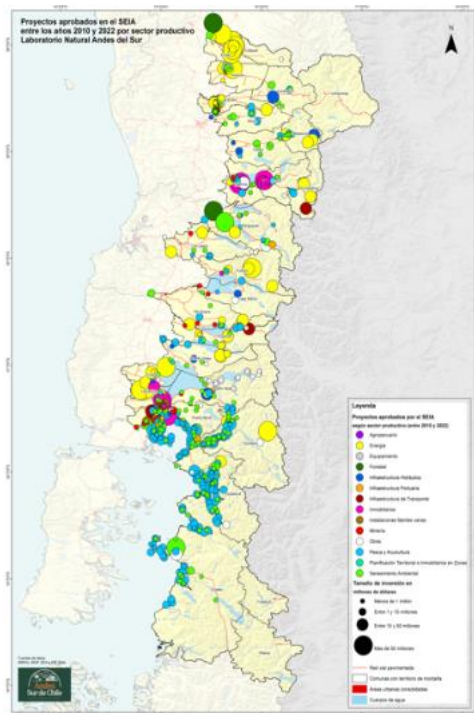


Figura 25: Proyectos aprobados por el SEIA entre los años 2010 y 2022

Esta fragilidad se ve reflejada en las potenciales externalidades ambientales que el desarrollo de economías extractivas puede generar para las comunidades locales, demostrado a través de los diferentes conflictos territoriales que se han gestado en el LNADS, en donde estos casos son ejemplo de las disonancias y la confrontación entre diferentes ontologías y concepciones (Skewes et al., 2012) para la gestión de territorios de montaña. A modo de ejemplo, la figura 25 representa parte de los conflictos territoriales emblemáticos en el LNADS, de los cuales, la mayoría corresponden a los vinculados con el desarrollo energético, contaminación de fuentes de agua, desarrollo inmobiliario y gestión de bienes comunes.

Tabla 8: Conflictos territoriales emblemáticos del LNADS. Fuente: Elaboración propia.

Nº	Nombre del Conflicto	Fecha	Tipo de Conflicto
1	Quinquén	1952	Gestión de bienes comunes, recuperación territorial
2	Central hidroeléctrica Pullinque	1960	Producción de energía
3	Ralco	1996	Producción de energía
4	Central hidroeléctrica Río San Pedro	2007	Producción de energía
5	Central hidroeléctrica Maqueo	2007	Producción de energía
6	Piscicultura Palguin	2007	Industria Acuícola

7	Centrales hidroeléctricas Statkraft río Pilmaiquén	2007	Producción de energía
8	Central hidroeléctrica Neltume	2010	Producción de energía
9	Contaminación Lago Villarrica	2010	Contaminación de fuentes de agua
10	Piscicultura Newenco	2010	Industria Acuícola
11	Piscicultura Quetroleufu	2011	Industria Acuícola
12	Contaminación Lago Panguipulli	2012	Contaminación de fuentes de agua
13	Central de Pasada Mediterráneo	2012	Producción de energía
14	Truful Truful sin represas	2013	Producción de energía
15	Proyecto de exploración y explotación geotérmica en Tolhuaca	2017	Gestión de bienes comunes
16	Co-Manejo del Parque Nacional Villarrica	2017	Gestión de bienes comunes, recuperación territorial
17	Proyecto inmobiliario Bahía Panguipulli	2017	Desarrollo Inmobiliario
18	Contaminación Lago Llanquihue	2017	Contaminación de fuentes de agua
19	Proyecto inmobiliario Loteo Riñimapu	2020	Desarrollo Inmobiliario
20	Camino Internacional Puelo	2023	Infraestructura

Por otra parte, el LNADS destaca por la trayectoria de economías locales, predominantemente rurales, cuya importancia se remonta a la configuración de su paisaje y a la construcción de un entramado cultural que persiste a la actualidad. Corresponden principalmente a iniciativas productivas de baja escala, del sector silvoagropecuario, que constituyen complejos agroecosistemas que reflejan la transmisión de saberes locales entre generaciones, través de prácticas, como el cultivo de huertas, chacras, crianza de animales, pesca artesanal, recolección de productos forestales no madereros, entre otras (Hermann, 2005; Marchant, 2019; Ibarra et al., 2020; Marchant et al., 2020).

De esta forma, destaca la agricultura asociada al enfoque agroecológico. Este principio agrupa diversas prácticas para el manejo de sistemas alimentarios sostenibles, como el cultivo de huertas con diversidad de tipos, variedades y asociación de especies (policultivo), como también por el uso y guarda de semillas tradicionales, crianza de razas de animales locales, además del uso de fertilizantes y controladores de plagas orgánicos (Ibarra et al., 2021). Cabe destacar, el rol de los conocimientos y prácticas locales como mecanismo clave en la adaptación de las comunidades locales y el desarrollo de la pequeña agricultura frente al cambio climático (Rodríguez et al., 2025).

En un sentido similar, existen diversas experiencias de desarrollo de turismo de base comunitaria (TBC) en el territorio, principalmente vinculadas a comunidades indígenas. Esta línea del turismo destaca por la construcción de una oferta gestionada por las comunidades locales y que se enfoca tanto en la visita a atractivos turísticos naturales como en la generación de experiencias que vinculen a los turistas con la cultura y modo de vida rural.

Existen diversos estudios que analizan el rol del Turismo Indígena y de Base Comunitaria como mecanismo de defensa para las comunidades indígenas y no indígenas en contexto de conflictos territoriales. En donde el turismo, además de dinamizar la economía local, promueve la valorización del patrimonio natural y cultural de los territorios. Asimismo, se configura como factor relevante en la revitalización identitaria y el fortalecimiento sociocultural de las comunidades locales (Pilquimán, 2016; Pacheco & Henríquez, 2016; Andrade & Pilquimán, 2020).



Anexo 1.f

Informe Practica Profesional II

“Patrimonio Geológico del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile: Elaboración de una base de datos para su integración al Visor de Inteligencia Territorial”.

Supervisora: Alejandra González Sanchis

PATRICIA MORIEL OYARZO PASCUALES

1. Introducción
2. Objetivo General
3. Objetivos específicos
4. Actividades realizadas, material y método
 - 4.1 Revisión bibliográfica
 - 4.2 Diseño y desarrollo de la base de datos
 - 4.3 Criterios de clasificación
 - 4.4 Producción de material visual
5. Resultados
 - 5.1 Base de datos
6. Conclusiones
7. Cronograma de actividades o Carta Gantt
8. Referencias
9. Anexos

1. INTRODUCCIÓN

El territorio de los Andes del Sur de Chile, comprendido entre los 38° y 44° de latitud sur, es reconocido por su gran riqueza geológica y su rol clave en la comprensión de procesos tectónicos y magmáticos. Esta región forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas tectónicamente más activas del mundo, donde la interacción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana da lugar a la subducción que genera importantes fenómenos geológicos como volcanes activos, sistemas de fallas y fuentes termales (Naranjo y Moreno, 1993; Lara, Cembrano y Lavenú, 2006)

Dentro de la región, destaca el Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (ZFLO), una estructura tectónica de más de 1.200 km que controla la actividad volcánica del arco magmático en los Andes del Sur. Desde el Pleistoceno Inferior, la ZFLO habría concentrado parte de la deformación frágil en el arco y servido de canal de ascenso para los magmas (Lara et al, 2006), esta gran estructura se encuentra relacionada con volcanes activos como Villarrica, Chaitén y Sollipulli, los cuales presentan un alto riesgo eruptivo debido a su actividad reciente y su proximidad a comunidades humanas.

El Laboratorio Natural Andes del Sur es una iniciativa interdisciplinaria que busca posicionar a la región andina del sur de Chile como un espacio de investigación y desarrollo sostenible, abarca las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (Figura 1). Financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) y liderado por la universidad Universidad Austral de Chile en colaboración con las universidades La Frontera, Pontificia Universidad Católica y Universidad de Los Lagos.

El LN ADS se estructura en tres áreas principales: 1) Evolución y Herencia Geológica, enfocada en el estudio de la geología de la región y riesgos como volcanismo y sismos;

2) Cambio Global, que investiga las interacciones entre bosques, suelos y recursos hídricos bajo el impacto de actividades humanas y fenómenos naturales; y 3) Modos de Vida y Habitar de Montaña, que analiza las prácticas socioculturales de las comunidades de montaña para integrarlas en estrategias de desarrollo territorial. ¹

El área alberga al menos 29 volcanes activos, entre ellos el volcán Villarrica, volcán Llaima y el volcán Chaitén, que han protagonizado algunas de las erupciones más importantes de las últimas décadas. También incluye geositos de relevancia internacional, como los del Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura, reconocido oficialmente en abril de 2019 como el primer Geoparque Mundial UNESCO de Chile². Según Schilling et al (2022) Los Geoparques Mundiales UNESCO (GMU) son territorios unificados que tienen un patrimonio geológico de relevancia internacional donde se promueve el desarrollo de las comunidades locales, de esta manera este geoparque no solo preserva el patrimonio geológico, sino que también promueve actividades educativas y de gestión del riesgo volcánico, abordando desafíos asociados a la coexistencia de comunidades humanas con un entorno dinámico y de alta actividad sísmica y volcánica. La región, además de su importancia científica, tiene un impacto significativo en el desarrollo socioeconómico local a través del turismo geológico y la valorización del patrimonio natural.

Por su riqueza y diversidad, los geositos del sur de Chile poseen un alto valor científico, educativo y cultural, y son considerados elementos clave del patrimonio natural. Sin embargo, la información sobre estos sitios se encuentra dispersa en tesis de pregrado, informes técnicos y guías geoturísticas, lo que dificulta su acceso y uso sistemático para iniciativas de desarrollo territorial y conservación. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo la elaboración de una base de datos de los geositos identificados y caracterizados en las comunas que pertenecen al LN ADS de Chile. Este trabajo se enmarca en la iniciativa “Visor de Inteligencia Territorial”, una plataforma interactiva diseñada para integrar datos geoespaciales que faciliten el análisis y comprensión de los procesos naturales y culturales del territorio.

1 <https://andesdelsurlab.cl>

2 <https://www.kutralkura.cl/el-geoparque-kutralkura?lang=>

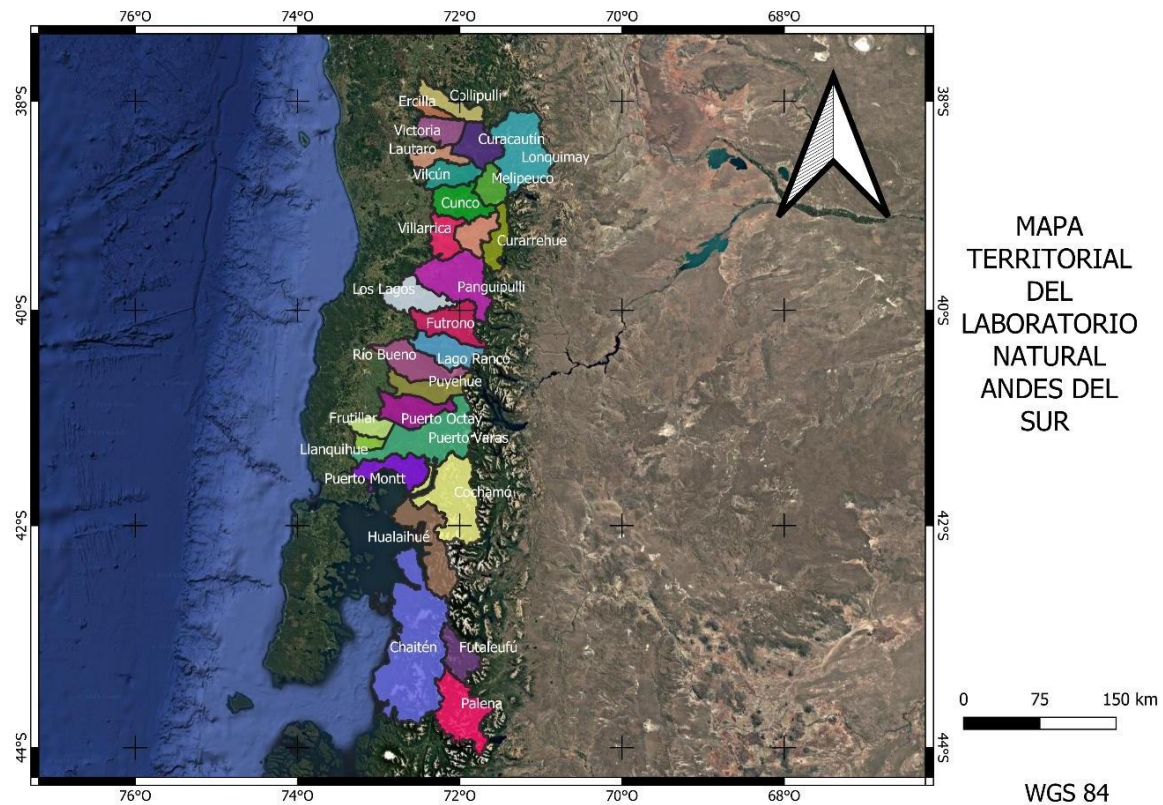


Figura 1. Mapa de las comunas que componen el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur. Elaboración Propia

2. Objetivo general

Elaborar una base de datos consolidada y detallada que integre información geológica, geográfica, cultural y patrimonial de los geositos identificados en las 28 comunas del Laboratorio Natural Andes del Sur. Este trabajo buscó contribuir al desarrollo del "Visor de Inteligencia Territorial", facilitando el análisis, conservación y gestión sostenible del patrimonio natural y cultural del territorio de montaña.

3. Objetivos Específicos

Identificar los geositos relevantes en las 28 comunas del Laboratorio Natural Andes del Sur, considerando su valor geológico, mediante la revisión de fuentes académicas como tesis, informes técnicos y guías geoturísticas.

Caracterizar en detalle cada geosito, incorporando información clave como su ubicación geográfica precisa (coordenadas, localidad, comuna, región), descripción geológica,

geomorfológica y patrimonial, valoración científica, así como referencias documentales y visuales (fotografías representativas).

Diseñar y desarrollar una base de datos consolidada que integre de forma sistemática y estandarizada toda la información recopilada, garantizando su accesibilidad.

Contribuir al fortalecimiento del Visor de Inteligencia Territorial, incorporando los datos geoespaciales procesados, con el fin de apoyar el análisis, la planificación y la gestión sostenible del territorio de montaña en los Andes del Sur.

4. Actividades realizadas y material y método

4.1 Revisión Bibliográfica

Esta etapa consistió en realizar una búsqueda de información sobre la caracterización de la geodiversidad, se trabajó principalmente con tesis de pregrado de diferentes universidades, lo que permitió identificar los geositos más relevantes de las comunas que componen el Laboratorio Natural Andes del Sur. A continuación, se detalla parte del material bibliográfico utilizado y la cantidad de Geositos identificados por trabajo y región.

Tabla 5. Bibliografía Principal utilizada

Título	Autor (Fuente de Información)	Nº Geositos	Región
"INVENTARIO DE GEOSITOS EN LA COMUNA DE LONQUIMAY, PARA LA CREACIÓN DEL GEOPARQUE KÜTRALKURA, IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA"	DIEGO MAR TÍN PARTARRIEU BRAVO	20	Araucanía
"IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE GEOSITOS, PARA LA CREACIÓN DEL I GEOPARQUE EN CHILE, EN TORNO AL PARQUE NACIONAL CONGUILLÍO"	PAOLA MACA RENA MARTÍNEZ ESCOBAR	22	Araucanía
Caracterización geológica e inventario de sitios de interés geológico de la comuna de Lautaro dentro del Geoparque Mundial de la UNESCO Kütralkura, Región de la Araucanía, Chile	CRISTÓBAL JES ÚS GIACAMAN HASBÚN	3	Araucanía
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE GEOSITOS Y SITIOS DE LA GEODIVERSIDAD EN CUNCO, IX REGIÓN DE	DANNY ANDRÉS	10	Araucanía

LA ARAUCANÍA: UNA HERRAMIENTA PARA LA GEOCONSERVACIÓN Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE	SCHERER CÁRDENAS		
Identificación, caracterización y valoración del patrimonio geológico de la comuna de Curarrehue, parte del Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura, Región de la Araucanía, Chile	MATÍAS HERNÁN PLAZA RAMÍREZ	9	Araucanía
EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNA DE LOS LAGOS, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE	VALENTINA DOMI NIQUE MUÑOZ MAURY	8	Los Ríos
EVALUACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD Y PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNA DE RÍO BUENO, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE: UNA HERRAMIENTA DE APOYO PARA LA GESTIÓN DE SU CONSERVACIÓN, DESARROLLO LOCAL Y TURISMO DE MONTAÑA	PAULINO AND RÉS ARREDONDO CASTILLO	8	Los Ríos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO EN EL ÁREA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO MOCHO-CHOSHUENCO, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE	CRISTÓBAL ALFR EDO VILLAGRÁN GONZÁLEZ	5	Los Ríos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD DE LA COMUNA DE FUTRONO, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE	NICOLÁS ALO NSO ESPINOZA TAPIA	1	Los Ríos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA COMUNA DE LAGO RANCO	FELIPE ANDRÉS SANTOS BARRÍA	4	Los Ríos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LAS COMUNAS DE FUTALEUFÚ Y PALENA	FELIPE ANDRÉS SANTOS BARRÍA	6	Los Lagos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LAS COMUNAS DE COCHAMÓ Y HUALAIHUÉ: UNA HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO DEL GEOTURISMO EN LA ZONA NORTE DE LA PATAGONIA CHILENA	MELISSA VIVI ANA GONZÁLEZ SUBIABRE	7	Los Lagos
GEOPATRIMONIO EN EL FLANCO NORTE DEL VOLCÁN CALBUCO, REGIÓN DE LOS LAGOS: IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ESTRATEGIA DE	FLORENCIA DAN IELA SÁNCHEZ	4	Los Lagos

DIVULGACIÓN PARA EL ENTENDIMIENTO DE PROCESOS VOLCÁNICOS	RODRÍGUEZ		
VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA COMUNA DE PUERTO VARAS: NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO LOCAL	TOMÁS ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA	8	Los Lagos
IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA COMUNA DE CHAITÉN PARA EL DESARROLLO DEL GEOTURISMO, REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE	ALEJANDRA VAN ESA GONZÁLEZ SANCHIS	12	Los Lagos

4.2 Diseño y desarrollo de la base de datos

Se diseñó una base de datos estructurada en formato Excel, con campos predefinidos que permitieron organizar y sistematizar la información de manera eficiente. A continuación, se detallan los campos que se completaron para cada geosito:

Tabla 6. Campos de información que componen la base de datos

Nombre geosito	
Región	
Provincia	
Comuna	
Localidad	
UTM	Latitud
	Longitud
Grados decimales	Latitud
	Longitud
Altitud (m.s.n.m)	
Figura de Protección	
Estado de Conservación	
Justificación 1	
Justificación 2	
Escala de Relevancia	
Valor Principal	
Valor Secundario	
Interés geocientífico principal	
interés geocientífico secundario	
Líneas de investigación	

Laboratorios Temáticos
Descripción
Contexto Geológico Local y/o Regional
Metodología de evaluación
Valor científico
Valor educativo
Valor turístico
Fuente de la información
Referencia bibliográfica

4.3 Criterios de Clasificación

Según Brilha (2005), un geosítio se define como un lugar con uno o más elementos de geodiversidad, claramente delimitado geográficamente, y que posee un valor distintivo desde perspectivas científicas, pedagógicas, culturales, turísticas u otras. Sin embargo, en una actualización realizada por el mismo autor en 2016, se replantea este concepto, limitándolo únicamente a sitios que presentan un valor científico excepcional, independientemente de otros posibles valores. Brilha (2016) señala que esta definición es ampliamente aceptada en la comunidad internacional, ya que ayuda a diferenciar claramente lo que se considera patrimonio de lo que no lo es. Los geosítios considerados en este trabajo fueron caracterizados por los autores mencionados en la tabla 5, en su mayoría bajo el criterio de evaluación Brilha (2016).

Para la categorización de los sitios, se define como geosítio cualquier lugar que alcance una puntuación mayor a 3 en la evaluación cuantitativa basada en los criterios científicos (Figura 2) propuestos por Brilha (2016). Además, un geosítio debe contener estos 4 aspectos fundamentales:

- i. **Representatividad:** Corresponde a la capacidad de un geosítio para ilustrar elementos o procesos geológicos (y si aplica, relacionados al contexto geológico).

- ii. **Integridad:** Relacionado al estado de conservación de los principales elementos geológicos (relacionados al contexto geológico si es aplicable); mientras mejor es su integridad, mayor es su valor científico.
- iii. **Singularidad/Rareza:** Referido a lo especial del sitio. Un menor número de sitios similares en el área de estudio (representando un contexto geológico si es aplicable) aumenta el valor científico.
- iv. **Conocimiento científico:** Existencia de estudios científicos publicados en relación con el geosito (relacionado al contexto geológico si es aplicable) reflejando el valor científico que ha tenido para la comunidad geocientífica.

Valor Científico, Turístico y didáctico	
>2	Bajo
2 a 3	Medio
> 3-4	Alto

Figura 2. Puntaje de clasificación de los geositos en base a su valor científico, turístico y didáctico (Brilha, 2016)

Para unificar los criterios de validación de todos los geositos, se utilizó como referencia la lista de validación y clasificación proporcionada por el SERNAGEOMIN, adaptando la caracterización propuesta por los autores a dichos criterios (figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

VALORPRINCIPAL
Científico
Didáctico
Turístico

ESCALA DE RELEVANCIA
Local
Regional
Nacional
Continental
Global
Sin información

Figura 3. Criterio de clasificación campo “Valor Principal” y “Escala de Relevancia”,
modificado de libro de geositios SERNAGEOMIN

INTERÉS GEOCIENTÍFICO	
Estratigráfico	Neotectónico
Geológico económico	Paleoambiental
Geológico estructural	Paleoclimático
Geocronológico	Paleogeográfico
Geomorfológico	Paleontológico
Geotécnico	Peligro geológico
Geotérmico	Petrológico
Glaciológico	Sedimentológico
Hidrogeológico	Sismológico
Hidrológico	Exogeológico
Hidroquímico	Tectónico
Lacustre	Volcanológico
Mineralógico	No especificado

Figura 4. Criterio de clasificación campo “Interés Geocientífico”, modificado de libro de
geositios SERNAGEOMIN

Justificación	Representativo de depósitos volcánicos
Representativo de procesos volcánicos de gran magnitud.	Representativo de depósitos sedimentarios
Representativo de procesos de remoción en masa de gran magnitud.	Representativo de rocas metamórficas.
Representativo de procesos volcánicos	Representativo de rocas intrusivas
Representativo de procesos climático-ambientales	Representativo de rocas tectónicas
Representativo de procesos hidrogeológicos	Representativo de yacimientos de rocas y minerales industriales
Representativo de procesos tectónicos	Representativo de yacimientos de recursos metálicos
Representativo de procesos de remoción en masa.	Localidad tipo
Representativo de procesos sedimentarios	Yacimiento paleontológico excepcional.
Representativos procesos geotérmicos.	Localidad fosilífera.
Representativo de procesos de mineralización	Fósil ex-situ
Representativo de procesos intrusivos	Centro de atracción turística
Representativo de eventos sísmicos.	Gran belleza escénica
Representativo de procesos glaciares.	Balneario
Representativo de procesos volcánicos	Otro
Representativo de procesos metamórficos	

Figura 5. Criterio de clasificación campo "Justificación", modificado de libro de geositios SERNAGEOMIN

ESTADO DE CONSERVACIÓN
Fuertemente degradado: lo elementos de interés se encuentran muy alterados o modificados.
Degradado: lo elementos de interés presentan alteraciones o modificaciones importantes
Alterado: el sitio presenta algún grado de deterioro o modificación pero los principales elementos de interés se conservan
Conservado: el sitio presenta bajo grado de deterioro o modificación conservando los principales elementos de interés y algunos secundarios
Muy conservado: el sitio no presenta deterioro o modificación conservando la totalidad de los elementos de interés principales y secundarios
Sin información

Figura 6. Criterio de clasificación campo “Estado de Conservación”, modificado de libro de geositios SERNAGEOMIN

FIGURA DE PROTECCIÓN	
Acuífero Protegido	Parque Marino
Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos	Parque Nacional
Área Protegida Privada	Parque Paleontológico (MBN)
Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos	Parque Urbano
Bien Nacional de Uso Público	Reserva de la Biósfera
Bien Nacional Protegido	Reserva de Región Virgen
Monumento Nacional - Monumento Arqueológico	Reserva Marina
Monumento Nacional - Monumento Histórico	Reserva Nacional
Monumento Nacional - Monumento Público	Reserva Natural Municipal
Monumento Nacional - Santuario de la Naturaleza	Ruta Patrimonial
Monumento Nacional - Zona Típica	Sin información
Monumento Natural	Sin protección
Monumento Paleontológico	

Figura 7. Criterio de clasificación campo “Figura de Protección”, modificado del libro de geositios SERNAGEOMIN

Contexto Geológico Local y/o Regional	
MgPz	Magmatismo Paleozoico
MgMz	Magmatismo Mesozoico
MgVCz	Magmatismo y volcanismo cenozoico
AcMz	Arco volcánico del Mesozoico
VNgsQ	Volcanismo Neógeno sup-Cuaternario y campos geotermales
IO	Islas y pisos oceánicos
TCA	Terrenos exóticos y complejos de acreción
SSPz	Series sedimentarias del paleozoico
SCMz	Series continentales mesozoicas y sus fósiles
SMTrJ	Cuencas marinas del Triásico, Jurásico y Cretácico basal
Smki	Cuencas Marinas del Cretácico Inferior
KsMC	El Cretácico Superior marino de Magallanes y Chile central
SCCz	Series continentales cenozoicas y sus fósiles
SMCz	Series Marinas Cenozoicas y sus fósiles
AFNgQ	Ambientes fluvioaluviales del Neogeno-Cuaternario
BC	Borde Costero
PGGI	Procesos, geoformas y depósitos glaciales del centro y sur
ACQ	Ambientes Continentales del Cuaternario, la Megafauna y los primeros
CHA	Campos de hielo e inlandsis antártico
TEC	Megaestructuras, tectónica andina y neotectónica
As	Geoformas por impactos y materiales del sistema solar incorporados a
BM	Batolitos y Complejos Plutónicos del Mesozoico
CTJ	Ciclos marinos del Triásico – Jurásico
AVM	Arco volcánico del Mesozoico
DCC	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles vertebrados

Figura 8. Contextos geológicos representados en los diferentes geositos inventariados.

4.4 Producción de material visual

Con el propósito de enriquecer la información sobre los geositos registrados en la base de datos, se seleccionaron y editaron fotografías representativas que destacan sus principales características. Estas imágenes fueron extraídas de los mismo trabajos que caracterizaron los geositos y se organizaron en carpetas según la región correspondiente, estableciendo una asociación directa con las descripciones de cada geosito. Este proceso tiene como objetivo

integrar las imágenes a la plataforma virtual del LN ADS, facilitando una visualización más completa y detallada de cada geositio.

5. Resultados

5.1 Base de Datos

El inventario de geositio en la base de datos abarcó un total de 20 comunas que componen el Laboratorio Natural Andes del Sur, distribuidas en tres regiones del sur de Chile: La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. En estas comunas se identificaron y catalogaron un total de 127 geositios, cuyas características se detallaron en base a los campos de información presentados en la tabla 6. La base de datos detalladas se encuentra en el anexo de este trabajo.

Las comunas incluidas en el inventario fueron: Lautaro, Curacautín, Lonquimay, Melipeuco, Vilcún, Cunco, Curarrehue, Panguipulli, Los Lagos, Río Bueno, Futrono, Lago Ranco, Puyehue, Frutillar, Puerto Varas, Cochamó, Chaitén, Hualaihué, Futaleufú y Palena.

En las tablas 7, 8 y 9 se muestran los nombres de los geositios inventariados de las comunas, en anexos se presenta la base de datos con la información completa de cada geositio.

Tabla 7. Nombre de los geositios inventariados en la base de datos para la Región de la Araucanía.

Nombre geositio	Comuna
Lago Colico	Cunco
Estratos de Huichahue	Cunco
Salto de Curacalco	Cunco
Lavas Holocenas Sollipulli	Cunco
Ignimbrita Alpehue	Cunco
Lago Caburgua	Cunco
Humedal La Vega	Cunco
Confluencia ríos Allipén y Curaco	Cunco

Maares Espejo y Reloj	Cunco
Batolito Futrono-Riñihue	Cunco
Termas Tolguaca	Curacautín
Salto de la Princesa	Curacautín
SALTO DEL INDIO	Curacautín
Piedra Santa	Curacautín
Basaltos columnares salto Malalco	Curarrehue
Laguna Hualalafquén	Curarrehue
Volcán Quinquilil	Curarrehue
Granitos y granodioritas cerro Las Peinetas	Curarrehue
Lavas del volcán Lanín en laguna Quillehue	Curarrehue
Laguna Verde	Curarrehue
Volcán Lanín	Curarrehue
Volcán Sollipulli	Curarrehue/Melipeuco
Volcán Quetrupillán	Curarrehue/Pucón/Panguipulli
Andesita Cerro Malalhuén	Lautaro
Cantera de conglomerados fluviales Pleistoceno del Río Quillen.	Lautaro
Depósitos glaciares y volcano-sedimentarios del Puente el Trueno	Lautaro
AZUFRERAS DE PELEHUE	Lonquimay
COLUVIOS CUBIERTOS DE TEFRA EN LONQUIMAY	Lonquimay
CORDÓN FISURAL ORIENTAL	Lonquimay
DESEMBOCADURA DEL RÍO ÑIRRECO	Lonquimay
DISCORDANCIAS DE CONTRACO	Lonquimay
ESTRATOS DE HUENUCAL IVANTE	Lonquimay
FALLA PINO SOLO	Lonquimay

FALLAS DE TRALILHUE	Lonquimay
GLACIAR SIERRA NEVADA (sector 'Cabecera del Estero Punta Negra')	Lonquimay
INTRUSIVOS DEL VALLE DE LONQUIMAY	Lonquimay
LAGO MARIÑANCO	Lonquimay
LAGO SAN PEDRO	Lonquimay
MESETA BATEA MAHUIDA	Lonquimay
MORRENA PORTALES	Lonquimay
PORTEZUELO LENGAS ESCRITAS	Lonquimay
SALTO LONQUIMAY	Lonquimay
TOBA CRUZADA CHICA	Lonquimay
TOBA PIEDRA DE LA NOVIA	Lonquimay
VALLE DE MITRAUQUÉN	Lonquimay
YACIMIENTO DE CARBÓN CERRO RUCAMANQUE	Lonquimay
Estación Laja	Melipeuco
Lavas Pahoe-Pahoe	Melipeuco
Tubo de lava en zona de lavas Pahoe-hoe	Melipeuco
Mirador Cañadón Trufultruful	Melipeuco
Ignimbrita Curacautín	Melipeuco
Depósito de oleadas piroclásticas	Melipeuco
Isla de vegetación en Conguillío	Melipeuco
Estación Lave	Melipeuco
Lago Arcoíris	Melipeuco
Bombas Piroclásticas en Playa Linda	Melipeuco
Sierra Nevada	Melipeuco
VALLE ALPEHUE	Melipeuco

SALTO GRANDE TRUFULTRUFUL	Melipeuco
Depósitos laháricos en rivera río Trufultruful	Melipeuco
Ignimbrita Alpehue	Melipeuco
Casa de Piedra	Melipeuco
Lava de Volcán Llaima con erosión glacial	Vilcún
Paleosuelo	Vilcún

Tabla 8. Nombre de los geositos inventariados en la base de datos para la Región de los Ríos.

Nombre geosito	Comuna
Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco	Futrono
Península Metasedimentaria de Paleozoico en Lago Ranco	Lago Ranco
Estratos Marinos del Mioceno en Trahuilco	Lago Ranco
Maar Riñinahue	Lago Ranco
Campo volcánico Carrán-Mirador	Lago Ranco
Rocas metasedimentarias paleozoicas de Punta Mariposa	Los Lagos
Remoción en masa de la población Las Lajas	Los Lagos
Flora fosilizada del Oligoceno-Mioceno en sector Los Ulmos	Los Lagos
Glaciar volcán Mocho	Los Lagos
Marmitas de gigantes en depósitos glaciares del Pleistoceno del río San Pedro	Los Lagos
Cráter Tumba del Buey	Los Lagos
Oleada piroclástica del CVMCH en mirador los volcanes	Los Lagos
Remoción en masa o "Taco 3" del río San Pedro	Panguipulli
Granitoides Jurásicos Aborregados de la Isla Gabriela y al CVMCH	Panguipulli
Andesitas Basálticas de los Saltos del Huilo-Huilo	Panguipulli
Andesitas Basálticas con fracturamiento planar del Bosque Nevado	Panguipulli
Andesitas Post-caldera del Flanco Este del CVMCH	Panguipulli

Basaltos del Bosque de los Espíritus y el Salto de La Leona	Panguipulli
Intrusivo y abrasión glacial en Isla Fresia	Puyehue
Basaltos columnares del Salto La Olla	Rio Bueno
Cauce del río Bueno	Rio Bueno
Abanico deltaico del río Licán	Rio Bueno
Depósitos de la Ignimbrita San Pablo en el Salto del río Contra	Rio Bueno
Cráter del volcán Puyehue	Río Bueno/ Lago Ranco
Desembocadura del río Golgol	Río Bueno/Puyehue
Saltos y disyunciones columnares de Anticura	Río Bueno/Puyehue

Tabla 9. Nombre de los geositios inventariados en la base de datos para la Región de Los Lagos.

Nombre geositio	Comuna
Esquistos en playa Santa Bárbara	Chaitén
Miembro Superior de la Formación Ayacara, isla Ica	Chaitén
Miembro Inferior de la Formación Ayacara, caleta Ayacara	Chaitén
Cauce abandonado del río Chaitén	Chaitén
Delta Chaitén	Chaitén
Domo del volcán Chaitén, 2008.	Chaitén
Lahar del volcán Michinmahuida	Chaitén
Metatonalita Chaitén	Chaitén
Géiseres de Porcelana	Chaitén
Termas Punta Calle	Chaitén
Ignimbrita El Amarillo	Chaitén

Depósitos piroclásticos río Turbio Chico	Chaitén
Maar de Puelo	Cochamó
Varves lacustre pro-glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, "Varves" de Frutillar	Frutillar
Cerro Tamango	Futaleufú
Horns Glaciares Cuaternarios	Futaleufú
Dique Felsítico Cretácico del Sector Huemul	Futaleufú
Depósitos sedimentarios Isla Nao	Hualaihué
Depósitos en Punta Poe	Hualaihué
Basaltos Punta Poe y Peperitas	Hualaihué
Columnas Basálticas del Cerro La Silla	Hualaihué
Ignimbrita Lago Cabrera	Hualaihué
Depósitos volcán Hornopirén	Hualaihué
Valle Glaciar del Lago Palena	Palena
Sedimentitas Mesozoicas Aborregadas del Sector El Aceite	Palena
Estratos del Lago California	Palena
Frente de Lava Río Blanco	Puerto Varas
Morfología de erupciones	Puerto Varas
Frente de Lava La Posa	Puerto Varas
Deposito Tepú Este	Puerto Varas
Disyunción columnar radial basáltica del Pleistoceno Superior, "Basaltos columnares radiales el Abanico" de Puerto Oscuro.	Puerto Varas
Geomorfologías y texturas cuaternarias de interacción con H ₂ O, Saltos del Petrohué, Puerto Varas	Puerto Varas
Cono del flanco suroccidental de la erupción de 1835, "Cráter Rojo" del Volcán Osorno	Puerto Varas
Erupción Fisural de 1835 en el flanco suroccidental, "La Fisura de 1835" del Volcán Osorno	Puerto Varas
Deposito volcánico interglaciar pleistoceno de la salida trébol norte, "Piroclastos del Trébol Norte" de Puerto Varas.	Puerto Varas
Depósitos glaciolacustres deformados del Cuaternario , "Varves" de Puerto Varas	Puerto Varas

Diques neptunianos cuaternarios en varves glaciares, "Volcanes de Arcilla" de Puerto Chico	Puerto Varas
---	-----------------

Se inventariaron 127 geositios en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur, distribuidos de la siguiente forma: 64 en la región de La Araucanía, 26 en la región de Los Ríos y 37 en la región de Los Lagos. A partir de la base de datos recopilada, se realizó un análisis estadístico que reveló que el 48% de los geositios no cuenta con protección legal. En cuanto a su representatividad, cerca del 51% corresponde a procesos y depósitos volcánicos (Figura 9 y 10).

Respecto al interés geocientífico, un 31% tiene un interés principal volcanológico, un 19% geomorfológico, y un 10% petrológico y estratigráfico (Figura 11).

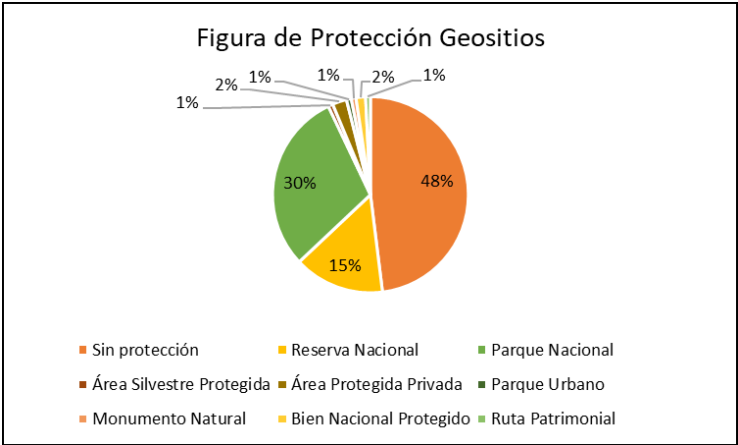


Figura 9. Gráfico porcentual "Figura de protección" de los geositios del Laboratorio Natural Andes del Sur.



Figura 10 . Gráfico porcentual “Representatividad” de los geositos del Laboratorio Natural Andes del Sur.

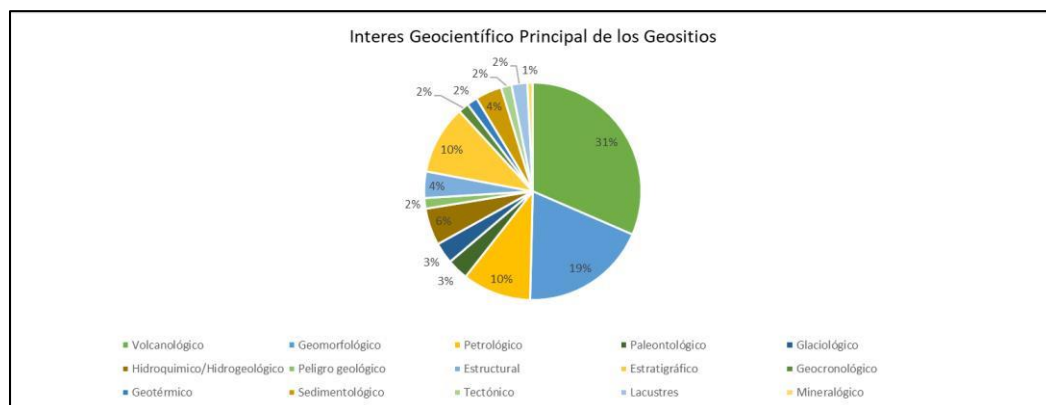


Figura 11. Gráfico porcentual “Interés geocientífico principal” de los geositos del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Las líneas de investigación del Laboratorio Natural Andes del Sur reflejan su enfoque en la diversidad geológica y su impacto en el territorio. La principal línea de investigación de los geositos inventariados están relacionados a Volcanología y los peligros volcánicos (Figura 12), abarcando un 43%, lo que resalta la importancia de estudiar los procesos volcánicos y sus riesgos asociados en la región. Le sigue Mineralogía y Petrología con un 12%, centrada en el análisis de minerales y rocas para comprender su origen y composición. Glaciares y recursos hídricos representan un 11%, destacando su rol crítico frente al cambio climático y en la disponibilidad de agua.

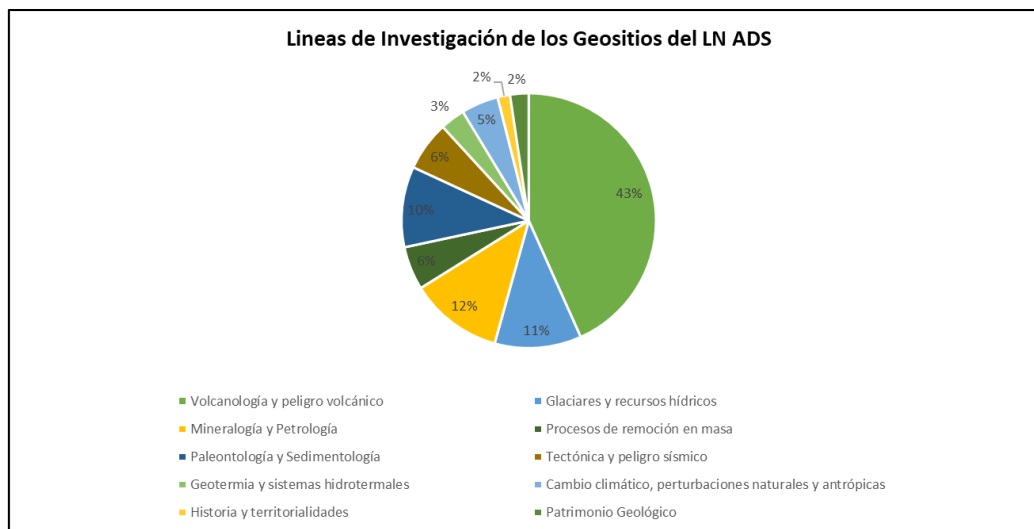


Figura 12. Gráfico porcentual “Líneas de Investigación” de los geositos del Laboratorio Natural Andes del Sur.

En cuanto a los contextos geológicos representados por los geositos del Laboratorio Natural Andes del Sur, la mayoría corresponde a VNgsQ (Volcanismo Neógeno Superior-Cuaternario y campos geotermales) (Figura 13), abarcando un 36%. Este contexto destaca la relevancia de los procesos volcánicos recientes y su vínculo con la actividad geotermal en la región. Le sigue PGGI (Procesos, geoformas y depósitos glaciales del centro y sur), que representan un 8%.

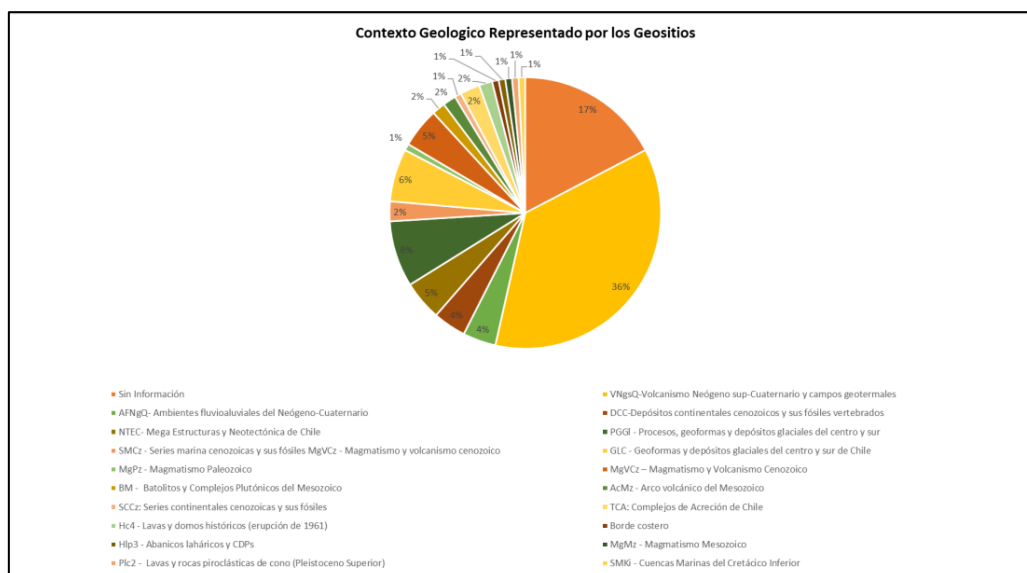


Figura 13. Gráfico porcentual “Contexto Geológico representado” por los geositos del Laboratorio Natural Andes del Sur.

6. Conclusiones

La realización de este trabajo permitió desarrollar una base de datos detallada del patrimonio geológico del Laboratorio Natural Andes del Sur (LN ADS), la cual integro un total de 127 geositos caracterizados en 20 comunas del LN ADS

Durante el proceso, se identificaron y seleccionaron los geositos caracterizados por lo autores mencionados en este trabajo, posteriormente se unifico los criterios de validación con los estándares entregados por el Sernageomin, esto permitió una estandarización de la información y así facilitar su comprensión.

En su mayoría, los geositos inventariados están relacionados con procesos asociados al volcanismo cuaternarios, esto se debe a la cercanía de estas comunas a la Cordillera de los Andes. También se destacaron geositos asociados a procesos de erosión y depositación glaciaria, como valles glaciares y morrena, además destacan geositos relacionados a la geotermia como campos termales, procesos fluviales y, en algunos casos, la presencia de depósitos sedimentarios con presencia de fósiles.

Si bien se logró recopilar información relevante del patrimonio geológico en la mayoría del territorio del LN ADS, no se encontró informaciones suficientes del patrimonio geológico en 8 comunas del LN ADS, siendo Collipulli, Ercilla, Victoria, Villarrica, Pucón, Llanquihue, Puerto Octay y Puerto Montt.

Para complementar esta base de datos, sería útil desarrollar proyectos relacionados a la evaluación y caracterización del patrimonio geológico en estas comunas faltantes. Con esto será posible complementar la información de la base de datos y tener un detalle total del patrimonio geológico del Laboratorio natural Andes del Sur.

Personalmente considero que el patrimonio geológico representa una pieza fundamental para entender la historia de nuestro territorio y su evolución a lo largo del tiempo. Su conservación no solo es clave para proteger su valor científico, sino también para potenciar su uso didáctico

y turístico de manera responsable. Estos geositos son testigos del pasado geológico, proporcionando información invaluable para la investigación, la educación y el desarrollo de actividades turísticas sostenibles que pueden beneficiar a las comunidades locales.

Sin embargo, es preocupante que muchos de estos lugares carezcan de una protección legal adecuada, lo que los deja vulnerables al deterioro o a un uso inapropiado. La base de datos generada, no solo permiten visibilizar el valor de estos sitios, sino también establecer las bases sobre estrategias para su protección y manejo sostenible.

En un país como Chile, con una diversidad geológica única, la falta de protección y manejo adecuado podría significar la pérdida irreparable de estos recursos. Por ello, es necesario fomentar la conciencia sobre su importancia, tanto a nivel local como global, para garantizar que estos tesoros geológicos sean preservados para las futuras generaciones.

7. Cronograma de Actividades o Carta Gantt

A continuación, se presenta la carta Gantt de la práctica profesional, detallando las actividades realizadas durante el periodo de la práctica profesional.

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Revisión bibliográfica inicial y recopilación de información											
Identificación y descripción de geositos en La Araucanía											
Identificación y descripción de geositos en Los Ríos											
Identificación y descripción de geositos en Los Lagos											
Relleno de campos geográficos (coordenadas, altitud)											
Relleno campos de Valoración geopatrimonial											
Integración de material fotográfico											
Validación de la base de datos											
Integración de información del SERNAGEOMIN											
Elaboración y revisión final del informe											
Integración Información a Visor de Inteligencia Territorial											

Figura 14. Carta Gantt

8. Referencias

- Arredondo, P.A. 2024. Evaluación de la geodiversidad y patrimonio geológico de la comuna de Río Bueno, Región de Los Ríos, Chile: una herramienta de apoyo para la gestión de su conservación, desarrollo local y turismo de montaña. Trabajo de Título (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 217 p.
- Brilha, J. 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* 8(2): 119-134. doi:10.1007/s12371-014-0139-3.
- Espinoza, N.A. 2024. Identificación, caracterización y valoración de la geodiversidad de la comuna de Futrono, Región de Los Ríos, Chile. Trabajo de Título (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 212 p.
- Giacaman, C.J. 2022. Caracterización geológica e inventario de sitios de interés geológico de la comuna de Lautaro dentro del Geoparque Mundial de la UNESCO Kütralkura, Región de la Araucanía, Chile. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 162 p.
- González, A.V. 2019. Identificación, caracterización y valoración de la geodiversidad en la comuna de Chaitén para el desarrollo del geoturismo, Región de Los Lagos, Chile. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 194 p.
- González, M.V. 2019. Identificación, caracterización y valoración de la geodiversidad en las comunas de Cochamó y Hualaihué: una herramienta para el desarrollo del geoturismo en la zona norte de la Patagonia chilena. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 136 p.
- Lara, L. E., Cembrano, J., Lavenu, A. 2006. La zona de falla Liquiñe-Ofqui: antecedentes de su evolución cuaternaria e implicancias para el volcanismo activo en los Andes del Sur. En XI Congreso Geológico Chileno, Universidad Católica del Norte, Actas, p. 427-430.

- Martínez, P. 2010. Identificación, caracterización y cuantificación de geositos, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Disponible en repositorio.uchile.cl/handle/2250/103845: 173 p.
- Martínez, T.A. 2017. Valoración de la geodiversidad en la comuna de Puerto Varas: nuevas perspectivas para el desarrollo local. Memoria (Published), Universidad de Chile: 190 p.
- Martínez, T.A. 2022. Geoconservation Guidelines for Patagonia Verde (southern Chile): Towards its recognition as a UNESCO Global Geopark. Master's Thesis (Published), Universidade do Minho: 132 p.
- Muñoz, V.D. 2023. Evaluación de la geodiversidad y el patrimonio geológico de la comuna de Los Lagos, Región de Los Ríos, Chile. Trabajo de Título (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 151 p.
- Naranjo, J. A., Moreno, H., Emparan, C., Murphy, M. 1993. Volcanismo explosivo reciente en la caldera del volcán Sollipulli, Andes del Sur (39°S). Revista Geológica de Chile 20(2): 167-191.
- Partarrieu, D. 2013. Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. Disponible en repositorio.uchile.cl/handle/2250/114788: 162 p.
- Plaza, M.H. 2023. Identificación, caracterización y valoración del patrimonio geológico de la comuna de Curarrehue, parte del Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura, Región de la Araucanía, Chile. Trabajo de Título (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 180 p.
- Santos, F.A. 2019. Identificación, caracterización y valoración de la geodiversidad en las comunas de Futaleufú y Palena. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 169 p.

- Santos, F.A. 2022. Identificación, caracterización y valoración de la geodiversidad en la comuna de Lago Ranco. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 143 p.
- Sánchez, F.D. 2020. Geopatrimonio en el flanco norte del Volcán Calbuco, Región de Los Lagos: identificación, caracterización y estrategia de divulgación para el entendimiento de procesos volcánicos. Memoria (Unpublished), Universidad del Desarrollo: 119 p.
- Sánchez, F.D., Romero, J. E., Pereira, P., Schilling, M. E. 2024. Geological heritage sites assessment in the northern flank of the Calbuco volcano (Southern Andes, Chile). *Andean Geology*, 51(2), 357-371. [dx.doi.org/10.5027/andgeov51n2-3651](https://doi.org/10.5027/andgeov51n2-3651).
- Scherer, D.A. 2021. Identificación, caracterización y valoración de geositos y sitios de la geodiversidad en Cunco, IX Región de la Araucanía: una herramienta para la geoconservación y el desarrollo sustentable. Trabajo de Título (Unpublished), Universidad Católica de Temuco: 180 p.
- Schilling, M. E., Contreras, M. A., Farías, C., Tascón, G., Partarrieu, D. 2022. Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura: laboratorio natural para la educación sobre los peligros volcánicos. Libro de Resúmenes IX Foro Internacional de Peligros Volcánicos – IX FIPVO, pp. 401-403.
- Villagrán, C.A. 2019. Identificación, caracterización y valoración de sitios de interés geológico en el área del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, Región de Los Ríos, Chile. Seminario (Unpublished), Universidad Austral de Chile: 138 p.

9. Anexos

Tabla 10. Base de dato de los geositos de la Región de la Araucanía

[illegible]

Tabla 12. Base de datos de los geositos de la Región de Los Lago

[illegible]

Anexo 1.g**Informe Diagnóstico marco institucional y normativo****ÍNDICE**

1. Introducción
2. Marco conceptual.
3. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 1 Evolución y Herencia geológica.
4. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 2 Cambio Global: Interacciones bosque, suelo y recursos hídricos
5. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 3 Modos de vida y habitar de montaña.
6. Oportunidades para el fortalecimiento del rol del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

I. Introducción

Los principales actores responsables del diseño e implementación de estrategias de gestión y protección de las montañas de los Andes del sur de Chile corresponden a ministerios de Gobierno, servicios públicos y organismos autónomos del Estado vinculados a esta temática, además de gobiernos locales, tales como municipalidades y gobiernos regionales. La formulación y ejecución de políticas, planes, programas y proyectos se caracteriza por un enfoque segmentado, en el que prevalece una impronta sectorial y temática de las instituciones responsables del despliegue de estas estrategias.

Asimismo, la presencia longitudinal de la Cordillera de los Andes en el territorio continental del país incide en que la implementación de acciones en estos territorios dependa, en gran medida, de los gobiernos locales y de sus instrumentos de planificación territorial. En consecuencia, la gestión de estos espacios se manifiesta a través de distintas escalas de intervención: comunal, provincial, regional y nacional.

Lo anteriormente señalado constituye una brecha relevante para el desarrollo de las acciones definidas en la Hoja de Ruta del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, particularmente en el Componente Estratégico II: Incidencia, demanda territorial, innovación y políticas públicas. En este contexto, el objetivo general del presente documento es describir el contexto actual de las políticas públicas y los posibles espacios de incidencia para la gestión de territorios de montaña, mediante la identificación de las actorías institucionales pertinentes y de sus respectivos planes, programas y proyectos.

II. Marco conceptual

Con el objetivo de definir el marco institucional y normativo relacionado con el LNADS. Se diferencia entre política pública, planes, programas y proyectos de inversión pública, con el propósito de establecer un marco conceptual común que permita identificar y analizar las iniciativas institucionales pertinentes para el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile.

El marco institucional y normativo diferencia entre las diversas iniciativas institucionales pertinentes con el quehacer del LNADS. En este sentido, se comprende como Política pública al conjunto de directrices diseñadas e implementadas por el Estado, que involucran a diversas actorías, sectores y niveles político-administrativos y territoriales, con el fin de cumplir objetivos específicos y/o abordar problemáticas consideradas prioritarias por el Gobierno y la ciudadanía (ILPES, 1995; Arroyo, 2012; Fontaine, 2015).

En el caso de los planes, corresponden a herramientas de planificación que formalizan las políticas públicas mediante la definición de líneas de acción y compromisos institucionales orientados al cumplimiento de objetivos estratégicos en un período de tiempo determinado.

Por otra parte, los programas públicos son el conjunto articulado de proyectos que, integrados y priorizados, buscan abordar una problemática inicial que afecta a una población específica en un período de tiempo determinado. Sus resultados son medibles y evaluados en función del cumplimiento de los objetivos establecidos y de la resolución de la problemática identificada para la población objetivo (Arroyo, 2012).

Finalmente, el instrumento técnico de intervención estatal mediante el cual se asigna un conjunto limitado de recursos, durante un período de tiempo determinado, para el cumplimiento de un objetivo específico promovido y ejecutado por el Estado en sus distintos niveles político-administrativos y territoriales (ILPES, 1995; Arroyo, 2012).

III. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 1 Evolución y Herencia geológica.

En relación con el Laboratorio Temático 1, centrado en la evolución y herencia geológica del territorio, es posible identificar diversos instrumentos de política pública que orientan la generación de conocimiento geocientífico, la reducción de riesgos de desastres asociados a procesos naturales y la protección del patrimonio geológico. Estos instrumentos establecen lineamientos para la investigación, protección y uso sostenible de los recursos geológicos, así como para la prevención y gestión de amenazas naturales que se originan en la dinámica del territorio.

El Plan Nacional de Geología (PNG), impulsado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), constituye uno de los principales instrumentos orientados a fortalecer el conocimiento geológico del territorio nacional. Este plan tiene como objetivo ampliar y actualizar la información geocientífica disponible mediante el desarrollo de cartografía geológica, geoquímica y geofísica, así como la generación de bases de datos e informes técnicos que permitan comprender mejor la estructura y evolución geológica del país.

A través de sus distintas etapas de implementación, el plan ha buscado aumentar la cobertura de cartografía geológica del territorio, contribuyendo a mejorar la disponibilidad de información para la investigación científica, la planificación territorial, la gestión de recursos naturales y la evaluación de amenazas geológicas. Asimismo, el plan contempla la generación de diversos productos de información, tales como mapas geológicos a distintas escalas, bases de datos geoespaciales e informes técnicos, los cuales se encuentran disponibles en plataformas digitales y sistemas de información geográfica para facilitar su acceso y utilización por parte de investigadores, instituciones públicas y la ciudadanía.

En este contexto, el Plan Nacional de Geología constituye una herramienta clave para el Laboratorio Temático 1, ya que provee información fundamental para comprender los procesos geológicos que han dado origen a los paisajes de montaña del territorio de estudio, así como para identificar elementos relevantes del patrimonio geológico y evaluar posibles amenazas naturales asociadas a la dinámica del medio físico.

Otro instrumento relevante es la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020–2030, que establece el marco estratégico para la gestión del riesgo en el país. Esta política busca fortalecer las capacidades institucionales y territoriales para prevenir, reducir y gestionar los riesgos asociados a amenazas naturales y antrópicas, promoviendo un enfoque preventivo y sostenible en la planificación del desarrollo.

La política se basa en principios como la prevención, la sostenibilidad y la corresponsabilidad, los cuales orientan las acciones destinadas a proteger a las personas, sus medios de vida y el entorno natural frente a eventos adversos. Asimismo, la política promueve la participación de diversos actores y sectores de la sociedad en la gestión del

riesgo, reconociendo que este constituye un fenómeno complejo que requiere coordinación interinstitucional y colaboración entre el ámbito público, privado y académico.

En el contexto de territorios de montaña, este instrumento adquiere especial relevancia debido a la presencia de amenazas naturales asociadas a procesos geológicos y geomorfológicos, tales como remociones en masa, actividad volcánica o eventos sísmicos. En este sentido, el desarrollo de conocimiento científico sobre la evolución geológica del territorio y sus procesos asociados resulta fundamental para la identificación de amenazas, la evaluación de vulnerabilidades y la planificación territorial orientada a la reducción del riesgo.

Por otro lado, La protección del patrimonio natural y geológico en Chile se sustenta también en un conjunto de normas legales orientadas a resguardar elementos de alto valor científico y cultural. Entre estas destaca la Ley de Monumentos Nacionales (Ley N°17.288), que establece que los sitios arqueológicos, paleontológicos y las piezas asociadas a estos constituyen bienes protegidos por el Estado. Esta legislación reconoce como monumentos nacionales los yacimientos y materiales paleontológicos presentes en el territorio nacional, incluyendo aquellos ubicados sobre o bajo la superficie terrestre o en espacios marítimos jurisdiccionales.

La ley establece que la protección, tuición y regulación de estos bienes corresponde al Consejo de Monumentos Nacionales, organismo encargado de autorizar actividades de investigación, prospección o excavación en sitios con valor patrimonial. Asimismo, el reglamento sobre excavaciones arqueológicas, antropológicas y paleontológicas regula los procedimientos y condiciones bajo las cuales pueden realizarse estas investigaciones, asegurando la adecuada conservación y manejo del patrimonio científico asociado. Este marco normativo resulta particularmente relevante para el Laboratorio Temático 1, ya que permite resguardar los elementos del patrimonio geológico y paleontológico presentes en el territorio, promoviendo su investigación, conservación y puesta en valor como parte del patrimonio natural a nivel nacional.

En el ámbito de la valorización, protección y gestión del patrimonio geológico, el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS) encuentra un espacio concreto de incidencia en su articulación con el Geoparque Kütralkura, reconocido como Geoparque Mundial UNESCO. Esta figura internacional constituye un instrumento de gestión territorial que promueve la conservación del patrimonio geológico, la educación y el desarrollo sostenible, en coherencia con los lineamientos establecidos por instrumentos nacionales como el Plan Nacional de Geología y la normativa de protección del patrimonio natural.

En este contexto, el LNADS cumple y proyecta fortalecer un rol como asesor científico-técnico, contribuyendo a la generación, sistematización y traducción de conocimiento geocientífico relevante para la gestión del geoparque. Esto incluye el apoyo en la identificación y caracterización de geositos, la provisión de información para la interpretación del patrimonio geológico, y el desarrollo de insumos para la planificación territorial y la educación científica. Asimismo, su capacidad de integrar datos geoespaciales y conocimiento interdisciplinario permite fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia dentro del modelo de gobernanza del geoparque.

De este modo, la articulación con el Geoparque Kütralkura permite al LNADS operar como un puente entre el sistema científico y los instrumentos de gestión territorial de alcance

internacional, contribuyendo a la implementación efectiva de políticas públicas relacionadas con la geología, la reducción del riesgo de desastres y la valorización del patrimonio natural.

IV. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 2 Cambio global: interacciones bosque, suelo y recursos hídricos

En el ámbito relacionado con el cambio global y las interacciones entre bosques, suelos y recursos hídricos, es posible identificar un conjunto de políticas públicas, planes e instrumentos que, a nivel nacional, orientan la conservación de ecosistemas, la gestión sostenible de los recursos naturales y la adaptación frente a los efectos del cambio climático. Estos instrumentos se articulan principalmente a través del Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Obras Públicas, junto con diversos servicios públicos especializados tales como la Dirección General de Aguas, la Corporación Nacional Forestal y el Servicio de Evaluación Ambiental, los cuales cumplen funciones relevantes en la planificación, regulación y evaluación ambiental de proyectos que inciden en estos territorios.

En el caso del territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS), estos instrumentos adquieren especial relevancia debido a que los ecosistemas de montaña concentran procesos ecológicos clave para la regulación hídrica, la conservación de biodiversidad y la dinámica de los suelos. Asimismo, estos territorios se encuentran expuestos a diversas presiones asociadas al cambio global, tales como cambios en el uso del suelo, eventos extremos, incendios forestales y transformaciones en los ciclos hidrológicos, lo que refuerza la necesidad de integrar conocimiento científico en los procesos de planificación y gestión territorial.

En este contexto, resulta particularmente relevante la reciente promulgación de la Ley N.º 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP), impulsada por el Ministerio del Medio Ambiente. Esta ley establece un nuevo marco institucional para la conservación de la biodiversidad en Chile, integrando bajo una misma institucionalidad la gestión del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y diversos instrumentos de conservación, restauración ecológica y planificación territorial asociados a ecosistemas terrestres y acuáticos. Su implementación contempla la coordinación entre distintos organismos públicos y la incorporación de herramientas de gestión orientadas a la conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas.

Para el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, esta ley adquiere especial relevancia debido a que el 56% de la superficie concentra áreas protegidas como parques y reservas naturales. En este contexto, el SBAP constituye un marco institucional clave para articular iniciativas de investigación, monitoreo ecológico y generación de conocimiento científico que contribuyan a la gestión adaptativa de estos ecosistemas frente a los desafíos del cambio global.

Asimismo, este nuevo marco institucional establece una base normativa que dialoga directamente con los objetivos de los Laboratorios Temáticos del LNADS. En particular, para el Laboratorio Temático 2 se identifican 3 instrumentos relevantes, considerando su vinculación con la restauración ecológica, la gestión de cuencas hidrográficas, la conservación de biodiversidad y la recuperación de suelos degradados.

La Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017–2030, coordinada por el Ministerio del Medio Ambiente, establece lineamientos para la conservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad en Chile, promoviendo además su incorporación en las políticas sectoriales de desarrollo. Su implementación tiene alcance nacional y se articula mediante diversos instrumentos de gestión, entre ellos planes de conservación de especies amenazadas, programas de monitoreo y acciones de restauración ecológica.

En el territorio del LNADS, esta estrategia adquiere particular relevancia debido a la presencia de ecosistemas de alto valor ecológico, entre ellos bosques templados, sistemas altoandinos y redes fluviales que cumplen funciones clave en la conservación de la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos. En este contexto, el Laboratorio Temático 2 contribuye al estudio de las dinámicas ecológicas de los ecosistemas de montaña, los procesos de restauración y los cambios en la biodiversidad asociados al cambio climático.

El desarrollo del laboratorio también abre oportunidades para fortalecer el monitoreo ecológico de largo plazo en ecosistemas de montaña, generar información científica para la conservación de especies y aportar antecedentes para procesos de planificación territorial basados en servicios ecosistémicos.

El Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021–2030, impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con el Ministerio de Agricultura y la Corporación Nacional Forestal (CONAF), establece lineamientos para orientar procesos de restauración ecológica y productiva a escala de paisaje. Su objetivo es recuperar funciones ecosistémicas asociadas a la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad, la protección de los suelos y la provisión de servicios ecosistémicos en territorios afectados por distintos procesos de degradación ambiental.

El plan tiene alcance nacional, aunque su implementación se desarrolla mediante acciones territoriales que priorizan zonas con mayores niveles de degradación, incorporando un enfoque que integra dimensiones ecológicas, sociales y productivas y que promueve la coordinación entre organismos públicos y actores territoriales. Este enfoque se relaciona directamente con las temáticas abordadas del Laboratorio Temático 2 en los territorios de montaña del sur de Chile, considerando los procesos de degradación de suelos, fragmentación de ecosistemas forestales y pérdida de cobertura vegetal asociados a cambios en el uso del suelo, eventos climáticos extremos e incendios forestales. En este contexto, el plan entrega un marco de referencia para iniciativas orientadas a la restauración de paisajes forestales y agroforestales, así como para abordar el rol de los suelos en la recuperación de servicios ecosistémicos y en la regulación de los ciclos hidrológicos.

Entre las oportunidades que abre este instrumento para el LNADS se encuentra la posibilidad de articular investigación aplicada con iniciativas de restauración territorial, aportando evidencia científica que contribuya al diseño y evaluación de prácticas de restauración ecológica, manejo sostenible del suelo y recuperación de ecosistemas de montaña.

Los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) son instrumentos de planificación desarrollados por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, orientados a mejorar la gestión integrada del recurso hídrico a escala de cuenca hidrográfica. Estos planes buscan generar diagnósticos integrales sobre la disponibilidad,

calidad y demanda de recursos hídricos, así como identificar brechas de gestión y definir medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático.

Al trabajar a escala de cuenca hidrográfica, estos planes integran dimensiones hidrológicas, ecosistémicas y territoriales en la planificación del agua, fortaleciendo la seguridad hídrica mediante la generación de información, planificación estratégica y coordinación entre organismos públicos y actores territoriales. En este marco, las zonas de montaña del sur de Chile cumplen un rol clave como cabeceras de cuenca, donde se originan procesos fundamentales para la regulación hídrica, como la generación y regulación de caudales, la infiltración en suelos volcánicos, la recarga de acuíferos y la provisión de agua para ecosistemas y actividades humanas, dinámicas estrechamente vinculadas a las interacciones entre bosques, suelos y sistemas hidrológicos que aborda el laboratorio.

Los PERHC también incorporan el papel de las reservas hídricas de origen nival y glaciar en la regulación de caudales, especialmente bajo escenarios de variabilidad climática. Este aspecto resulta particularmente relevante para el territorio del LNADS, donde los sistemas cordilleranos influyen directamente en los balances hídricos de las cuencas.

En este contexto, el desarrollo del laboratorio puede aportar conocimiento científico sobre procesos hidrológicos en cuencas andinas, particularmente en relación con el rol de los bosques, los suelos y la criosfera en la regulación del agua, contribuyendo a fortalecer enfoques de gestión integrada del recurso hídrico y adaptación al cambio climático.

Además de los instrumentos priorizados anteriormente, se identifican otros planes, estrategias e instrumentos de política pública que resultan relevantes para el análisis del cambio global en territorios de montaña y que complementan el marco institucional del Laboratorio Temático 2. Entre ellos destacan la Política Nacional para la Gestión de Humedales, el Programa de Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD-S) y la Estrategia Nacional de Especies Exóticas Invasoras, los cuales contribuyen a la conservación de ecosistemas clave para la regulación hídrica y la biodiversidad.

Por otra parte, instrumentos como el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, la Estrategia Climática de Largo Plazo, y el Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad, establecen lineamientos para enfrentar los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas y los recursos naturales del país. Además de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales impulsada por CONAF, se abordan procesos de degradación de ecosistemas forestales y riesgos asociados a incendios forestales, temática que adquiere especial relevancia en territorios de montaña del sur de Chile. Este aspecto establece además un vínculo directo con las temáticas abordadas por el Laboratorio Temático 3, particularmente en lo referido a los modos de vida y al habitar de montaña, considerando que los incendios forestales y los efectos del cambio climático generan impactos significativos en las comunidades rurales, en la gestión del territorio y en las prácticas productivas locales.

En conjunto, estos instrumentos configuran un marco institucional amplio dentro del cual el LNADS puede contribuir mediante la generación de conocimiento científico, el monitoreo de procesos socioecológicos y el fortalecimiento de políticas públicas orientadas a la gestión sostenible de los territorios de montaña.

En el marco de los instrumentos internacionales vinculados a la conservación de ecosistemas y el desarrollo sostenible, el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS) se articula con las Reservas de la Biósfera Araucarias y Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes, ambas reconocidas por el programa MAB de UNESCO. Estas figuras operan como plataformas de gobernanza territorial que integran objetivos de conservación de la biodiversidad, desarrollo sostenible y apoyo logístico a la investigación y educación.

La vinculación del LNADS con estas reservas se traduce en un rol activo actual y proyectado como asesor científico, particularmente en la generación y provisión de información relevante para la comprensión de los sistemas socioecológicos de montaña, incluyendo dinámicas de cambio climático, funcionamiento de ecosistemas forestales, servicios ecosistémicos y gestión de cuencas hidrográficas.

En la Reserva de la Biósfera Araucarias, el laboratorio aporta a la valorización y comprensión de los sistemas ecológicos y bioculturales, fortaleciendo capacidades locales y promoviendo el uso del conocimiento en procesos de planificación. En el caso de la Reserva de la Biósfera Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes, esta articulación se expresa en la participación del LNADS en instancias de gobernanza y en el apoyo a la actualización de su plan de gestión, contribuyendo con evidencia científica y herramientas de análisis territorial para la toma de decisiones.

Estas interacciones permiten al LNADS contribuir a la implementación de los lineamientos del programa MAB-UNESCO, posicionándose como un actor clave en la articulación entre ciencia, políticas públicas y gestión territorial, especialmente en un contexto de cambio global que demanda enfoques integrados y basados en evidencia.

V. Marco institucional y normativo relacionado con el Laboratorio temático 3 Modos de vida y habitar de montaña.

El quehacer del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile se vincula con diversos instrumentos de política pública que abordan dimensiones clave del habitar de montaña, tales como la adaptación al cambio climático, el desarrollo rural, la seguridad alimentaria y la interculturalidad.

Entre la diversidad de políticas públicas relacionadas al rol del LNADS, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático se erige como el instrumento de mayor relevancia al constituirse como el principal marco articulador de la política pública en esta materia. Además de establecer lineamientos para fortalecer la adaptación en Chile, articula los diversos planes sectoriales correspondientes a los sectores prioritarios: silvoagropecuario, biodiversidad, pesca y acuicultura, salud, servicios de infraestructura, ciudades, energía, turismo y recursos hídricos. En este sentido, tanto la temática como el instrumento adquieren especial relevancia para el LNADS, considerando que los ecosistemas de montaña se encuentran entre los más frágiles frente al cambio climático, cuyos efectos se manifiestan particularmente en la biodiversidad y en los modos de vida y de habitar de las comunidades de montaña. De este modo, el laboratorio se vincula estrechamente con este instrumento al abordar las relaciones socioecológicas presentes en estos territorios y su exposición a los impactos del cambio climático.

Entre los sectores prioritarios definidos por el Plan, aquellos que presentan mayor relación con el quehacer del LNADS son ciudades, turismo, silvoagropecuario y recursos hídricos. En estos ámbitos, el interés radica en la aplicación del instrumento en sus distintas escalas de implementación, nacional, regional y comunal, y en los desafíos que ello plantea para los gobiernos locales en materia de planificación y gestión territorial. Asimismo, el Plan establece una modalidad de gobernanza multiescalar, en la que destacan instancias como los Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC) y el Equipo Técnico Interministerial de Cambio Climático (ETICC), orientadas a fortalecer la articulación intersectorial en torno a los desafíos y medidas necesarias para la adaptación, mediante la generación de capacidades y la implementación de acciones transversales.

Finalmente, la vinculación del LNADS con este instrumento también puede analizarse a partir de la relación entre los componentes centrales de su hoja de ruta (ciencia, incidencia y comunicación) y las cuatro líneas de acción transversales definidas por el PNACC: T.1 Investigación científica; T.2 Comunicación y educación ambiental; T.3 Fortalecimiento institucional; y T.4 Reducción del riesgo de desastres.

En este mismo ámbito destaca la Política Nacional de Desarrollo Rural, publicada mediante el Decreto Supremo Nº19 e implementada por la Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio (COMICIVYT), se consolida como otro instrumento relevante, considerando el predominante carácter rural del territorio del LNADS. Este instrumento integra el análisis territorial como un enfoque intersectorial, articulando las dimensiones sociales, económicas y ambientales en el desarrollo e implementación de políticas de mediano y largo plazo orientadas a mejorar la calidad de vida en los territorios rurales, reconociendo tanto su heterogeneidad como los desafíos que comparten.

La PNDR se estructura en torno a los ámbitos estratégicos de bienestar social, desarrollo de oportunidades económicas, sustentabilidad medioambiental y cultura e identidad. Entre estos destacan las iniciativas orientadas a mejorar las condiciones de habitabilidad en territorios rurales, la diversificación de las economías rurales, el fortalecimiento de la investigación, monitoreo y gestión de los ecosistemas, así como la protección y valorización del patrimonio cultural rural. En este contexto, el instrumento presenta diversos puntos de convergencia con el quehacer del LNADS, considerando que la geografía de los Andes del sur de Chile configura condiciones de aislamiento y rezago que, a su vez, generan desafíos en materia de conectividad, acceso a bienes y servicios y dinamización de las economías locales, con el fin de mejorar las condiciones de vida de quienes habitan territorios de montaña. Asimismo, la política desarrolló un sistema de indicadores de calidad de vida rural destinado a monitorear el avance y los resultados de sus acciones, aspecto que resulta de interés para el LNADS en la medida en que puede constituir una referencia para el diseño del sistema de monitoreo de la salud de la montaña.

Desde el LNADS se desarrollan diversas iniciativas orientadas a la producción de conocimiento, entre las que destacan investigaciones dirigidas a comprender la influencia del cambio climático en los sistemas de vida de los Andes del Sur, así como aquellas que exploran el diseño de políticas de adaptación que integren conocimientos locales para enfrentar las externalidades derivadas del cambio ambiental global. En una línea similar, se implementan iniciativas enfocadas en valorizar los ecosistemas de montaña, contribuyendo al resguardo de su patrimonio natural y cultural. Finalmente, este

instrumento adquiere un carácter referencial al consolidar desafíos y acciones de carácter interministerial, además de promover la articulación intersectorial para abordar los desafíos que enfrentan estos territorios. En este sentido, comparte con el LNADS el enfoque territorial en la planificación de acciones y en la formulación de políticas, perspectiva desde la cual el LNADS busca incidir en el ámbito público, posicionando a la montaña como un sistema complejo que presenta múltiples desafíos.

De forma similar, la Estrategia Nacional de Soberanía para la Seguridad Alimentaria busca fortalecer la seguridad alimentaria a nivel nacional mediante la integración de dimensiones culturales, ambientales, sociales y económicas, con el objetivo de promover el fortalecimiento y la sustentabilidad de los sistemas alimentarios. Esta estrategia resulta relevante para el LNADS al abordar un ámbito estratégico asociado a los modos de vida y de habitar en territorios de montaña, donde confluyen acciones destinadas a la revitalización y conservación de prácticas, conocimientos y tecnologías vinculadas a los sistemas alimentarios. Asimismo, este instrumento busca institucionalizar el enfoque de los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Nacional y Mundial (SIPAN/M). En este contexto, destaca la reciente experiencia de reconocimiento del SIPAM Sistema Ancestral de la Cordillera Pehuenche, en cuyo Plan de Acción de Conservación Dinámica el LNADS proyecta su participación

En materia intercultural, destaca la Ley Indígena (Ley N° 19.253), que reconoce a las Comunidades Indígenas de Chile y establece las principales referencias para el desarrollo de una política indígena a nivel nacional. A nivel ministerial, sobresale el rol del Ministerio de Bienes Nacionales y el Ministerio de Desarrollo Social, el primero de estos concentra iniciativas de ampliación de tierras indígenas y fortalecimiento de las comunidades a través de diversos programas estatales, mientras que el segundo es relevante al albergar a la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), actoría principal en el desarrollo de las acciones de esta cartera. Cabe destacar que, debido a su focalización en comunidades indígenas, las acciones relacionadas a esta ley, se concentran en regiones con una marcada presencia indígena. Este instrumento normativo, además, establece las bases de creación de comunidades indígenas y diseña programas focalizados en esta materia, siendo de especial importancia en el quehacer del LNADS, debido a su fuerte componente intercultural asociado a la ocupación ancestral y actual del territorio por comunidades mapuche-pehuenche y huilliche. Desde el componente incidencia, en donde las acciones definidas por el LNADS buscan contribuir desde la articulación con diversas actorías, como también a través de la provisión de información para la toma de decisiones, en donde destacan las líneas de investigación que abordan la Historia y construcción de territorialidades, prácticas bioculturales y Desarrollo local y gobernanza. En el mismo ámbito, el Plan Buen Vivir busca orientar la acción del Estado hacia un enfoque intercultural mediante una oferta programática y de inversión pública que, junto con la articulación y mediación con las comunidades de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, contribuya a abordar el conflicto intercultural desde diversas aristas.

Cabe destacar, que también son de interés en el desarrollo de las acciones del LNADS, la Política Nacional de Zonas en Desarrollo como instrumento de planificación implementado a escala regional que identifica y focaliza recursos y acciones a localidades en condición de aislamiento. Asimismo, la Política Nacional de Educación Rural que integra la ruralidad como enfoque territorial para abordar la implementación de acciones que garanticen la educación de calidad y pertinente en territorios rurales. Mientras que, en el ámbito

cultural, es de relevancia el Plan Nacional de Patrimonio Cultural que busca fortalecer el desarrollo de acciones de investigación, reconocimiento y salvaguarda en torno al patrimonio cultural y natural del país.

En el ámbito de los sistemas bioculturales y las formas de habitar la montaña, el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS) se vincula con el Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) “Sistema de Vida Territorio Cordillera Pehuenche”, iniciativa impulsada por la FAO que reconoce territorios donde prácticas agrícolas tradicionales, biodiversidad y cultura local se encuentran estrechamente interrelacionadas.

En este contexto, el LNADS ha desempeñado un rol relevante como articulador y soporte científico-técnico en el proceso de postulación y consolidación del SIPAM, contribuyendo a la sistematización de información territorial, la integración de evidencia científica y la articulación entre actores locales, institucionales y académicos. Este rol se proyecta en la fase de implementación del plan de conservación dinámica, donde el laboratorio puede aportar al monitoreo de sistemas socioecológicos, a la evaluación de impactos y al fortalecimiento de capacidades locales.

El enfoque interdisciplinario del LNADS, que integra ciencias naturales, sociales y saberes locales, resulta especialmente pertinente para abordar los desafíos asociados a la sostenibilidad de los modos de vida de montaña, tales como el cambio climático, la pérdida de conocimientos tradicionales y las transformaciones territoriales. En este sentido, su contribución como asesor científico permite fortalecer la base de evidencia para la toma de decisiones y apoyar la implementación de estrategias que resguarden la resiliencia y continuidad de estos sistemas bioculturales.

De este modo, la articulación con el SIPAM posiciona al LNADS como un actor clave en la interfaz entre conocimiento científico, políticas públicas y prácticas territoriales, contribuyendo a la valorización y sostenibilidad de los sistemas de vida de montaña en el sur de Chile.

VI. Oportunidades para el fortalecimiento del rol del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

A partir del análisis de diversos instrumentos, políticas y planes de carácter público, es posible identificar una serie de oportunidades para fortalecer el rol del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile en la implementación de su Hoja de Ruta y en el cumplimiento de los objetivos asociados a sus componentes de Ciencia, Incidencia y Comunicación.

Desde una perspectiva transversal y temática, destacan como instrumentos de mayor relevancia la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020–2030, la Ley N.º 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. En relación con estos marcos, se proyecta el fortalecimiento del rol articulador del LNADS, así como el desarrollo de investigación en territorios de montaña con impacto territorial. En este contexto, una de las principales oportunidades radica en consolidar al LNADS como un nodo científico orientado a la provisión de información y a la articulación entre el ámbito académico y el sector público,

contribuyendo al desarrollo de capacidades de adaptación al cambio climático a escala local, regional y nacional.

Asimismo, a través de su red de investigadores y de los procesos de sistematización e integración de datos en indicadores e índices, el LNADS puede posicionarse como un actor relevante en el monitoreo interdisciplinario de largo plazo, orientado a evidenciar avances y desafíos en la gestión y conservación de los ecosistemas de montaña. En esta línea, el laboratorio busca también incidir en el desarrollo de políticas públicas que integren conceptualmente a los sistemas de montaña como una unidad de análisis territorial, destacando su relevancia nacional en tanto cabeceras de cuenca, paisajes bioculturales, territorios de alta biodiversidad y reservorios de memoria geológica.

En términos de articulación, el LNADS se posiciona como un espacio clave para vincular el conocimiento científico con los saberes locales, favoreciendo su integración en el diseño e implementación de políticas públicas pertinentes a las necesidades, desafíos y activos de los territorios de montaña. Finalmente, en materia de gobernanza, el laboratorio busca fortalecer su rol como instancia de asesoría científica para la provisión de información y evidencia que sustente la toma de decisiones. Del mismo modo, se proyecta su participación en espacios estratégicos de gestión territorial, como Reservas de la Biósfera y Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial, apoyando procesos de gestión mediante la valorización de los ecosistemas de montaña y la democratización del acceso a la información.