



Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

Territorio de montaña de
relevancia científica mundial



Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile:

Territorio de montaña de relevancia científica mundial

© **de los textos:** Carla Marchant, Manuel Schilling, Patricio Contreras, Pablo Sánchez, Alejandra Zúñiga, Nicole Colin, José Tomás Ibarra, Alejandra González, Javiera Rubio, Claudia Dauré y Katia Barahona

© **de las ilustraciones:** Carolina Oliveros y Constanza Marchant

© **de las fotografías:** Carmen Mariqueo, Daniel Basualto, Alejandra González, Claudia Dauré, Eduardo Betancourt, Juan Alonso, Paula Torrent, Paulino Arredondo, Patricio Contreras, Rossemarie Lüer y Andrés Amengual

Portada: Casa en sector La Junta, Cochamó. Fotografía de Claudia Dauré

© **Trafun Ediciones Ltda. y Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, 2026**

trafunediciones.cl

andesdelsurlab.cl

Edición y dirección de arte: Isabel Guerrero

Diseño: Constanza Marchant

Diagramación: Sebastián Alvear

Impresión: Imprenta América

Primera edición, Abril 2026

Valdivia Chile

ISBN: 978-956-6475-01-9

Este libro fue elaborado en el marco del proyecto “Laboratorio Natural Andes del Sur: Fortalecimiento y vinculación de la CTCL en los territorios de montaña de la macrozona sur” (NEL123N0007) financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo ANID.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción parcial o total citando las fuentes correspondientes.



Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

Territorio de montaña de
relevancia científica mundial





Índice

Prefacio	6
Introducción	12
Capítulo 1: Arco volcánico activo	18
Capítulo 2: Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui	34
Capítulo 3: Continuo de fuentes termales	44
Capítulo 4: Territorio de desastres	54
Capítulo 5: Gradientes de reservas de agua dulce	64
Capítulo 6: Vida y función de los suelos andinos	85
Capítulo 7: Bosques templados andinos de latitudes medias	98
Capítulo 8: Refugio andino: historia, pueblos y paisajes	114
Capítulo 9: Economía, conflictos y conservación	132
Capítulo 10: El futuro de los Andes del sur de Chile	146
Glosario	150
Referencias	156



Prefacio

El estudio de las áreas de montaña y de los efectos del cambio global sobre ellas se ha convertido en una preocupación creciente en la agenda internacional. Así lo reflejan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, en particular el ODS 6, orientado a la protección y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua —entre ellos, los de montaña—, y el ODS 15, que subraya la urgencia de conservar estos ecosistemas para fortalecer su capacidad de proveer beneficios esenciales para el desarrollo sostenible.

Según la FAO (2012), alrededor del 63,8 % del territorio chileno puede clasificarse como montañoso. En este contexto, la cordillera de los Andes cumple un papel clave en la estructura territorial del país: alberga una gran diversidad climática y geomorfológica y provee bienes naturales y servicios ecosistémicos fundamentales para el desarrollo humano (Marchant, 2012). La cordillera ha sido además un elemento central en la configuración de la identidad nacional y en la construcción simbólica del territorio.

Sin embargo, pese a la relevancia de los recursos naturales, la diversidad cultural, los modos de vida y los ecosistemas frágiles que se encuentran en la montaña, el conocimiento disponible sobre estos territorios sigue siendo escaso, fragmentado y en muchos casos poco actualizado. Lo mismo ocurre con los estudios relativos a los efectos del cambio global y a las presiones antrópicas que afectan a estos espacios (FAO, 2012). En la misma línea, los antecedentes de la Política Nacional de Montaña señalan de manera enfática que la información sobre el estado de las montañas en Chile es dispersa y desactualizada (Comité Nacional para las Montañas, 2016). Esta situación se explica, en parte, por la prolongada ausencia de una política pública integral que reconozca y ponga en valor los territorios de montaña, sus comunidades y sus manifestaciones culturales. Como resultado, el paisaje de montaña ha sido comprendido de manera limitada como patrimonio nacional, aun cuando constituye probablemente el más extenso e importante del país, dada la magnitud de la cordillera de los Andes.

A pesar de los reiterados llamados a promover un enfoque integrado para el estudio de las montañas, Chile aún carece de instancias estables que impulsen su investigación interdisciplinaria y la generación de conocimientos que sirvan de base para el diseño de políticas orientadas a su conservación y gestión sostenible. En 2016, el Estado chileno inició el proceso de elaboración de una Política Nacional para la gestión sustentable de la montaña, la cual, hasta la fecha, no ha sido aprobada. En consecuencia, persiste un conocimiento insuficiente sobre los impactos del cambio global en estos ecosistemas vulnerables y sobre las estrategias necesarias para enfrentar las presiones antrópicas que los afectan. Diversos informes e instituciones han enfatizado, por ello, la urgencia de contar con un marco normativo que aborde estos desafíos de manera integral.

En este escenario de ausencia de políticas integrales y de déficit de conocimiento, el reconocimiento de las singularidades geográficas de los territorios y de su potencial científico emerge como un aspecto relativamente reciente en la agenda pública, abriendo nuevas posibilidades para comprender de manera sistemática las montañas. En Chile, el Ministerio de Ciencia Tecnología, Conocimiento e Innovación fue creado en 2018 con la misión de impulsar, desde el ámbito público, la generación y el uso del conocimiento para avanzar hacia un desarrollo sustentable, promoviendo la inclusión, la equidad, la colaboración, el cuidado del medio ambiente y el bienestar de las comunidades (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2026). Para cumplir con este objetivo, el Ministerio ha definido cuatro ejes de acción interconectados entre sí. Un primer eje corresponde a la vinculación con la sociedad para promover la apropiación y valoración social de la ciencia. El segundo se orienta al futuro, buscando aprovechar la Ciencia, la Tecnología, el Conocimiento y la Innovación (CTCI) en la construcción de nuevas formas de valor basadas en las singularidades del país. El tercer eje se enfoca en el fortalecimiento del ecosistema de la CTCI y, finalmente, un cuarto eje se centra en las capacidades institucionales para el desarrollo de la ciencia. En este marco, las singularidades del país y los Laboratorios Naturales (LN) se conciben como una estrategia estatal para la gestión del conocimiento orientada a la sostenibilidad de los territorios.

La Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) propone a los LN como nodos de articulación del ecosistema CTCL en Chile. Un Laboratorio Natural es un “territorio con singularidades o atributos naturales y/o culturales únicos, que poseen ventajas y/u oportunidades para el desarrollo de la ciencia, la tecnología y el conocimiento, en sus múltiples expresiones, de alto nivel e impacto planetario, con incidencia en el desarrollo local” (ANID, 2022).

En este contexto surge el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS Chile), concebido como una red interdisciplinaria de investigación, información y articulación territorial, donde confluyen diversos conocimientos para comprender procesos naturales y humanos de esta zona montañosa única en el mundo. El LNADS Chile busca investigar, recopilar, integrar y compartir información científica y técnica de manera adaptativa, articulada y transdisciplinaria con el propósito de mejorar la calidad de vida presente y futura de las comunidades de los Andes del sur de Chile. A través del desarrollo de producción científica con pertinencia territorial, se constituye como un instrumento nodo de articulación del ecosistema CTCL de los territorios de montaña de la macrozona sur.

El LNADS Chile es ejecutado por la Universidad Austral de Chile en alianza con la Pontificia Universidad Católica de Chile sede Villarrica, la Universidad de La Frontera y la Universidad de Los Lagos, en colaboración con la Fundación Mar Adentro. Corresponde a uno de los siete proyectos financiados por ANID para fomentar el desarrollo de Laboratorios Naturales en el país, fortaleciendo la actividad científica y contribuyendo al desarrollo económico y social de los territorios.

El objetivo principal del LNADS Chile es promover el conocimiento, la investigación de frontera, la valoración intercultural y la conservación de los territorios de montaña del sur de Chile —regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos—, a través de una aproximación socioecológica, inter y transdisciplinaria, que permita generar ciencia de punta para el desarrollo local, del país y del mundo (ANID, 2020).

En el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, la investigación científica se articula en torno a tres grandes ejes. El primero se centra en la evolución y herencia geológica, abordando el volcanismo activo, los terremotos, los sistemas geotermales y los deslizamientos de tierra, junto con el estudio del patrimonio geológico, la mineralogía, la paleontología y la sedimentología, con el fin de comprender los riesgos naturales y potenciar usos productivos como la geotermia, el turismo y el geopatrimonio. El segundo eje examina el cambio global y las interacciones entre suelos, bosques y agua, evaluando los efectos de perturbaciones naturales y antrópicas —como volcanismo, retroceso de glaciares, incendios y cambio climático— sobre la biodiversidad, la fertilidad de los suelos y los recursos hídricos, para promover la restauración ecológica y el mantenimiento de servicios ecosistémicos. Finalmente, el tercer eje se centra en los modos de vida y el habitar de montaña, considerando las prácticas socioculturales, la historia, el patrimonio biocultural y los conflictos socioambientales, con el propósito de generar modelos de desarrollo local sustentable y de gestión territorial en contextos de montaña.

En este marco, este libro nace con el fin de acercar a las personas a las singularidades de los Andes del sur de Chile, poniendo en valor su complejidad ambiental, cultural y científica. Buscamos compartir, en un lenguaje accesible y territorialmente situado, el conocimiento generado por el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, invitando a comprender la cordillera como un sistema vivo, dinámico y estrechamente vinculado a las comunidades que la habitan.

Esperamos que esta publicación contribuya a la apropiación social del conocimiento y fomente una reflexión informada sobre los desafíos y oportunidades de los territorios de montaña, en un escenario marcado por el cambio climático, los riesgos naturales y la necesidad de avanzar hacia formas de desarrollo más sustentables. Desde una mirada integradora e interdisciplinaria, los contenidos aquí reunidos aspiran a fortalecer el diálogo entre ciencia, territorio y sociedad.

Agradecemos a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) por incentivar y financiar el desarrollo de los Laboratorios Naturales en Chile; a las instituciones que conforman el LNADS Chile por su compromiso y colaboración; y a las investigadoras, investigadores y equipos de trabajo que hicieron posible esta obra. Un reconocimiento especial a las comunidades de los Andes del sur de Chile, cuyos territorios y saberes inspiran y dan sentido a este libro.



Cordillera Las Raíces, Lonquimay
Fotografía: Carmen Mariqueo



Introducción

Donde ciencia y montaña se encuentran

En los Andes del sur de Chile, la ciencia y la montaña convergen para revelar las **singularidades de un territorio vivo**. Desde aquí iniciamos un recorrido por el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, un espacio que nos permite comprender los procesos que modelan la vida en la montaña.

La montaña como un sistema vivo

Las montañas son formaciones geográficas caracterizadas por pendientes pronunciadas y/o altitudes significativas en relación con su contexto circundante, configurando entornos geomorfológicos de alta energía. Estas áreas, por su escala y características, representan sistemas socioecológicos únicos debido a su complejidad ambiental y cultural. Los procesos naturales, como la meteorización y la gravedad, inducen desplazamientos de masa y limitan el desarrollo de suelos profundos, reduciendo la productividad biológica y aumentando la fragilidad frente a intervenciones humanas intensivas. Al mismo tiempo, estas formaciones sostienen fenómenos fundamentales para la vida, como la generación de biodiversidad, la provisión de agua y alimento, y el almacenamiento de carbono en los bosques (Messerli & Ives, 1997).



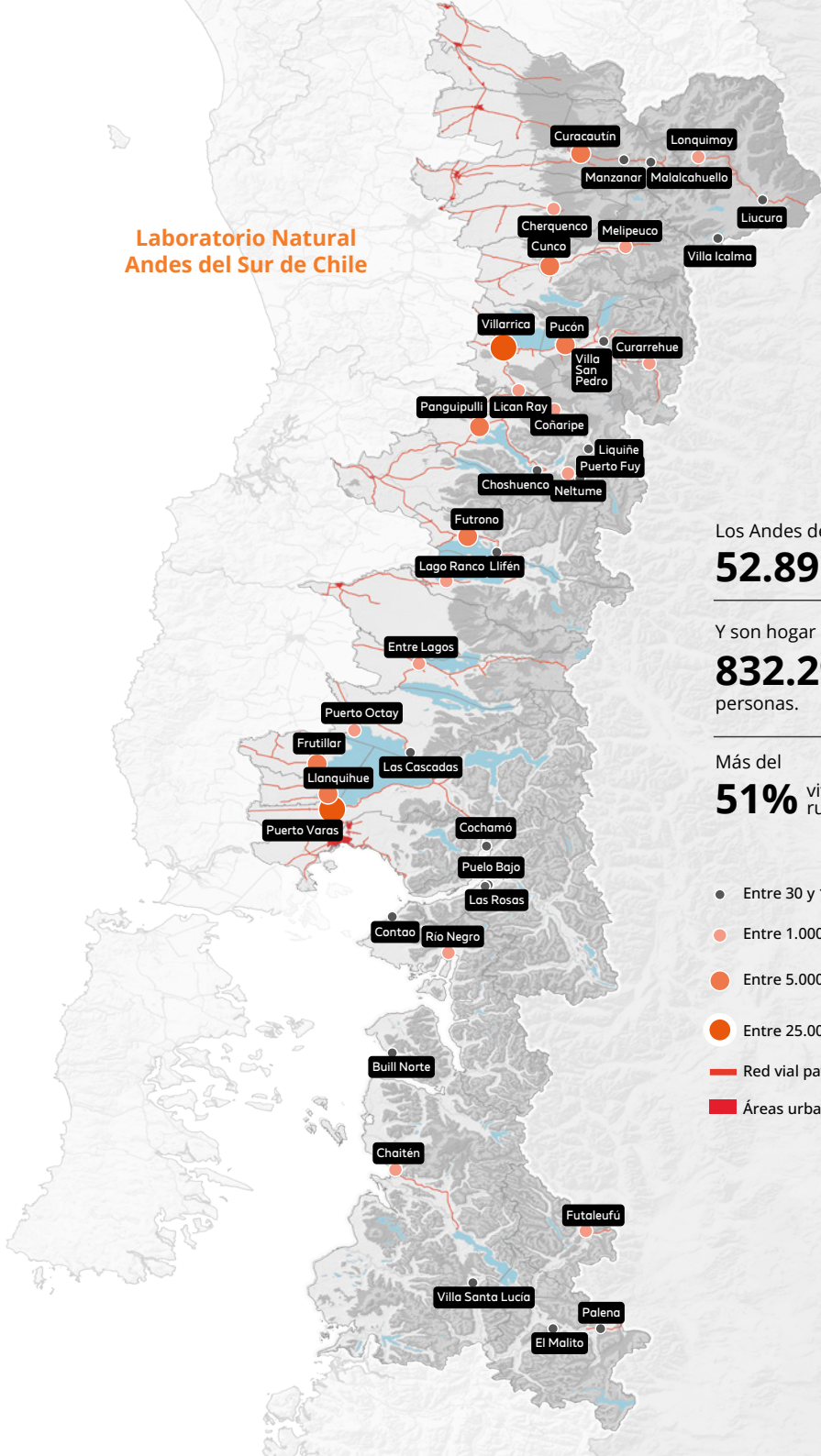
Colmillo del diablo, sector Puesco, Curarrehue

Fotografía: Carmen Mariqueo

El territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

El Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile se extiende entre los 38° y 44° de latitud sur, abarcando las zonas cordilleranas de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, con una superficie aproximada de 52.891 km². Está conformado por 28 comunas cordilleranas —Collipulli, Ercilla, Victoria, Lautaro, Curacautín, Lonquimay, Melipeuco, Vilcún, Cunco, Villarrica, Pucón, Curarrehue, Panguipulli, Los Lagos, Río Bueno, Futrono, Lago Ranco, Puyehue, Frutillar, Llanquihue, Puerto Octay, Puerto Montt, Puerto Varas, Cochamó, Chaitén, Hualaihué, Futaleufú y Palena—, en las que habitan cerca de 832.000 personas, distribuidas en más de 40 localidades.

Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile



Los Andes del Sur cubren
52.891 km²

Y son hogar de
832.298
personas.

Más del
51% vive en zonas
rurales

- Entre 30 y 1.000 hab.
- Entre 1.000 y 5.000 hab.
- Entre 5.000 y 15.000 hab.
- Entre 25.000 y 30.000 hab.
- Red vial pavimentada
- Áreas urbanas consolidadas



Cumbre volcán Sollipulli

Fotografía: Alejandra González

Este territorio se caracteriza por una marcada ruralidad, que alcanza el 51,5 % de su población total, y por una importante presencia de comunidades indígenas, que representan el 26,7 % de sus habitantes, principalmente del pueblo mapuche. La población se concentra mayoritariamente en el rango etario de 15 a 64 años, aunque presenta un índice de envejecimiento significativo: por cada 100 personas menores de 15 años hay 72,7 mayores de 64.

La compleja y diversa geografía del LNADS plantea desafíos particulares para el habitar humano en un entorno dominado por montañas, fiordos, lagos y ríos. No resulta casual que la consolidación de los principales poblados haya ocurrido de manera tardía en comparación con otras zonas del país. Por esta razón, los asentamientos se ubican principalmente en valles fluviales, bordes lacustres y zonas de baja montaña, entre los 250 y 1000 msnm.

Los Andes del sur presentan características geológicas, biofísicas y culturales únicas a escala planetaria. Su alta variabilidad climática y geomorfológica, junto con la presencia de bienes naturales y servicios ecosistémicos esenciales para la vida humana, configuran un territorio de alto valor ambiental y científico. Se trata de un espacio de alto endemismo, donde conviven ecosistemas frágiles y una rica diversidad biocultural.



Montaña y araucarias, camino Icalma-Melipeuco

Fotografía: Carmen Mariqueo

En este territorio destacan la Reserva de la Biosfera Araucarias y la Reserva de la Biosfera Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes, el Geoparque Mundial UNESCO Kütralkura y el Sitio SIPAN (Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Nacional) Territorio Cordillera Pehuenche, reconocimientos que subrayan la relevancia ecológica, cultural y patrimonial de los Andes del sur a escala global.

Chile, por su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y su geografía montañosa, concentra en los Andes del sur un conjunto de singularidades de relevancia mundial. Este libro explora, a lo largo de sus capítulos, esas características excepcionales: la presencia de un arco volcánico activo, el Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui, una alta densidad de fuentes termales y diversos peligros geológicos, que han hecho de este territorio un escenario donde la vida se desarrolla en permanente diálogo con el riesgo y el desastre.

Asimismo, la región alberga bosques templados únicos, con especies emblemáticas como la araucaria y el alerce, suelos volcánicos fértiles que sustentan una gran biodiversidad y reservas de agua dulce en glaciares y lagos. En estos territorios habitan, además, los pueblos mapuche, pehuenche y huilliche, portadores de una cosmovisión ancestral que concibe la montaña y el agua como entidades vivas, esenciales para el equilibrio de la vida. Todo ello convierte a los Andes del sur de Chile en un Laboratorio Natural de escala mundial, donde confluyen ciencia, cultura y naturaleza.



CAPÍTULO 1 ARCO VOLCÁNICO ACTIVO

Cuando la Tierra respira fuego

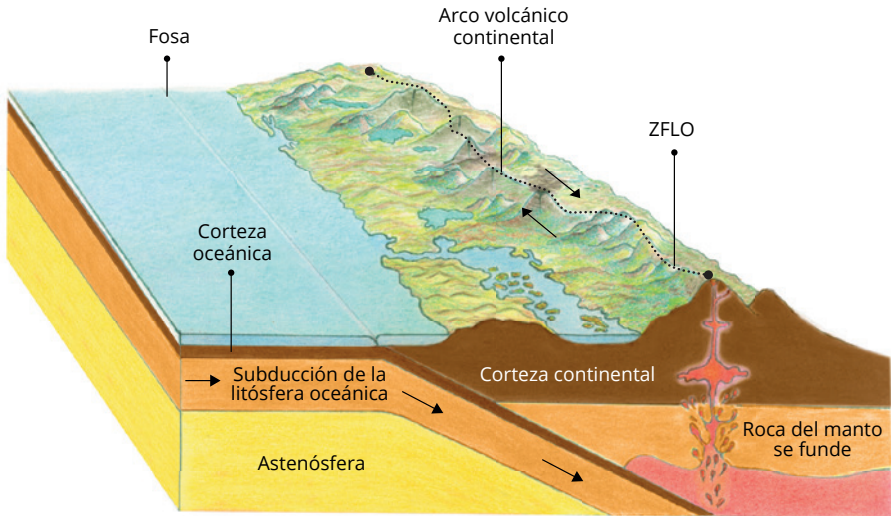
El territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile alberga una de las zonas volcánicas más activas del planeta, donde se concentran **29 de los 87 volcanes activos de Chile**. Estos volcanes han sido intensamente estudiados y monitoreados con el fin de anticipar futuras erupciones y reducir sus impactos en la vida humana y los ecosistemas.

Contexto geológico

Los Andes del sur de Chile se ubican en un contexto geológico excepcional: forman parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, la franja tectónica más activa del planeta, donde las placas oceánicas chocan y se hunden bajo los continentes, generando zonas de subducción. En Chile, la placa de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana, produciendo procesos a gran escala, como la formación del cordón montañoso de los Andes (orogénesis), la actividad sísmica asociada a fallas activas y la generación de magmas que pueden ascender a la superficie y dar origen a volcanes y fuentes termales. Este proceso ha ocurrido de manera relativamente continua durante los últimos 300 millones de años, moldeando el relieve y condicionando los ecosistemas y la vida humana.

La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana transporta agua contenida en minerales y sedimentos hacia las profundidades del manto. Al aumentar la presión y la temperatura durante este proceso, el agua se libera y actúa como un agente clave, ya que disminuye la temperatura de fusión de las rocas, gatillando la fusión parcial del manto y la producción de magmas. Este magma, más liviano que el manto, asciende a través de fallas y fracturas de la corteza, pudiendo alcanzar la superficie y dar origen al intenso volcanismo que caracteriza a los Andes del sur.

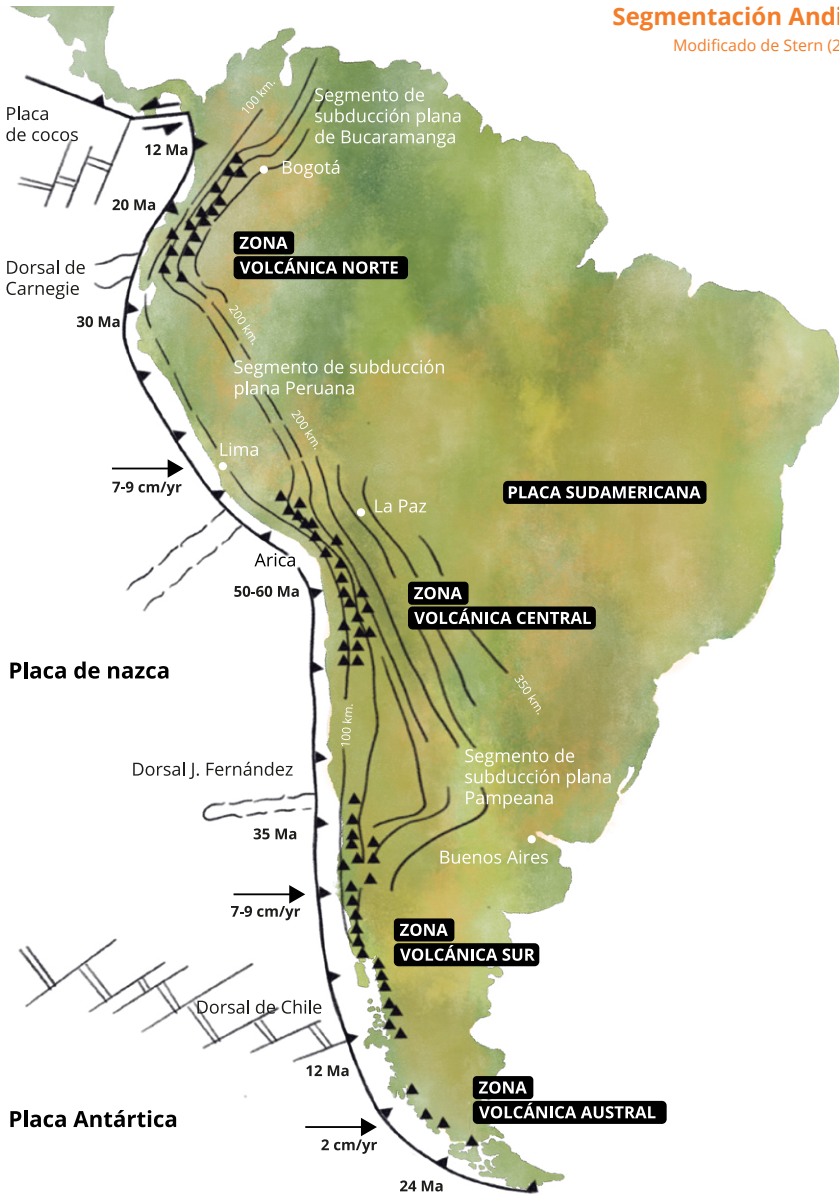
Zona de subducción



El LNADS Chile se ubica en la llamada Zona Volcánica Sur (ZVS), uno de los cuatro segmentos activos del arco volcánico andino. Esta zona se extiende desde el volcán Tupungato, en la Región Metropolitana, hasta el volcán Hudson, en la Región de Aysén, y corresponde a una sección donde la subducción ocurre con un ángulo relativamente inclinado, lo que favorece la generación y el ascenso de magma. En contraste, en sectores donde la subducción es más plana, el volcanismo está ausente. La forma, distribución y actividad de los volcanes en esta zona han variado a lo largo del tiempo, en respuesta a cambios en la geometría y velocidad de las placas tectónicas, así como a su interacción con dorsales oceánicas, como la dorsal de Juan Fernández al norte y la dorsal de Chile al sur.

Segmentación Andina

Modificado de Stern (2004)

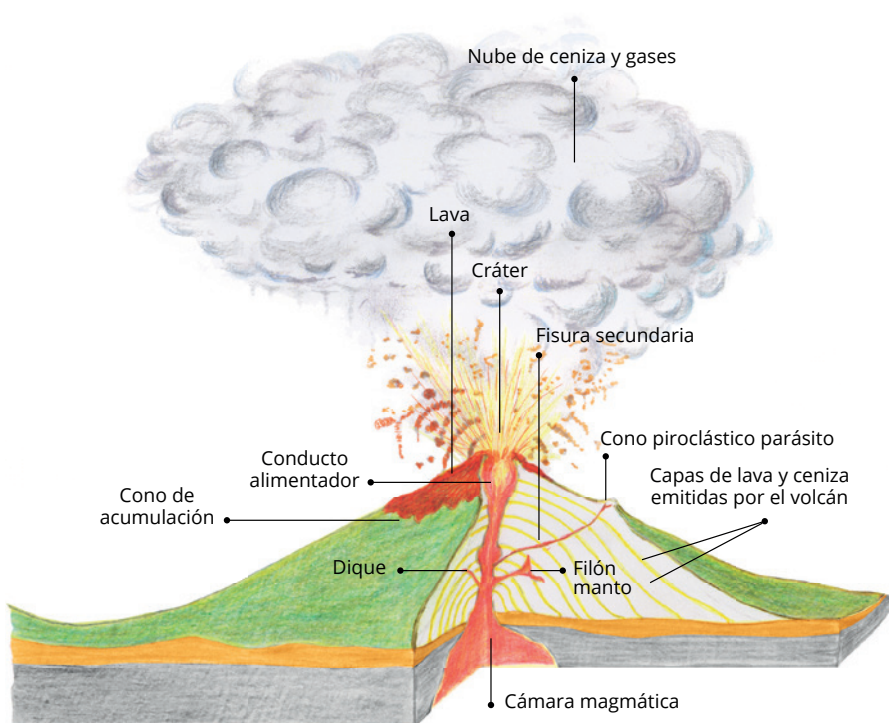


Arquitectura de un volcán

En términos generales, un volcán está compuesto por varios elementos: una cámara magmática, un conducto alimentador o chimenea, un cono volcánico, un cráter principal y fisuras laterales.

La actividad volcánica comienza cuando el magma acumulado en la cámara magmática asciende hacia la superficie a través de un conducto que desemboca en la corteza terrestre, conocido como chimenea volcánica. Con el tiempo, y como resultado de sucesivas erupciones que expulsan lava y otros materiales volcánicos, como los piroclastos, se forma un cono de acumulación, estructura comúnmente asociada a la imagen de un volcán. En la cima de este cono se desarrolla una depresión, generalmente circular y de paredes empinadas, conocida como cráter.

Partes de un volcán



Durante las etapas iniciales de crecimiento y evolución de un volcán, la mayor parte del magma y los piroclastos es expulsada a través del conducto central. Sin embargo, con el paso del tiempo, este material puede encontrar nuevas vías de escape, liberándose a través de fracturas en los flancos del volcán, lo que da origen a conos parásitos o conos de ceniza.

Las erupciones volcánicas se clasifican según la forma en que el magma es expulsado. En una erupción explosiva, el magma es altamente viscoso y rico en gases, lo que provoca una liberación violenta al alcanzar la superficie. Este proceso fragmenta el magma en material piroclástico —como ceniza y rocas—, que es lanzado al aire formando una pluma eruptiva o nube de ceniza. En cambio, las erupciones efusivas liberan lava más fluida de manera continua, que desciende por los flancos del volcán sin grandes explosiones.

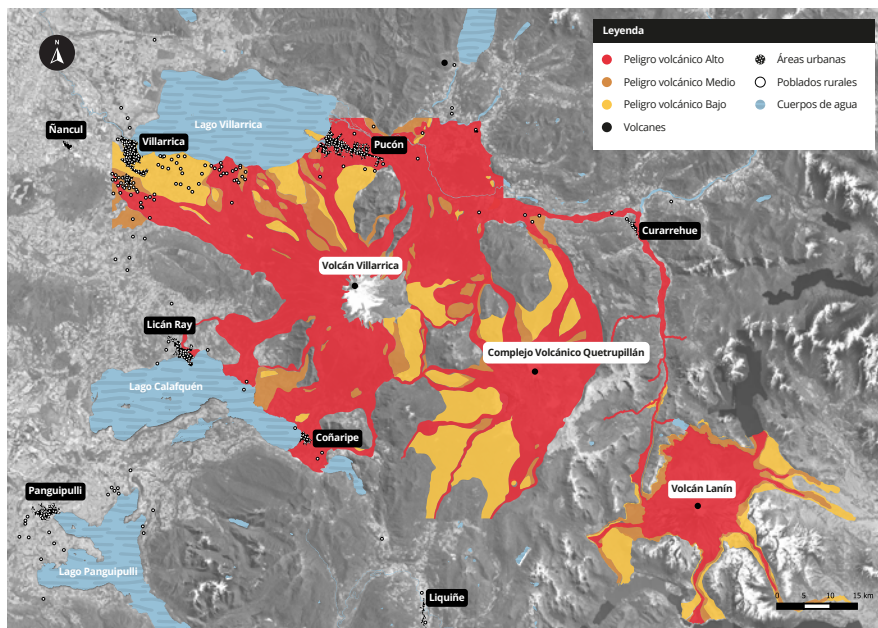
Peligros geológicos y productos volcánicos

Los peligros geológicos son procesos naturales —como erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones, terremotos o tsunamis— originados por la dinámica interna o superficial del planeta, que pueden afectar gravemente a las personas, los ecosistemas y las infraestructuras.

Para identificar los peligros que amenazan una zona específica, es fundamental analizar los eventos del pasado y comprender las condiciones actuales que podrían favorecer su repetición. En el caso de los volcanes, estos pueden generar una amplia variedad de peligros volcánicos, capaces de afectar sectores ubicados a varios kilómetros del cráter.

Entre los principales peligros volcánicos se encuentran los flujos de lava, lahares, flujos piroclásticos, caída de ceniza, proyectiles balísticos y emisiones de gases tóxicos. Estos peligros se representan mediante mapas de peligro volcánico, que indican, mediante escalas de color, las áreas con mayor o menor probabilidad de ser afectadas por distintos fenómenos eruptivos. Habitualmente se utilizan colores como rojo (peligro alto o muy alto), naranja (peligro moderado) y amarillo (peligro bajo o muy bajo).

Actualmente, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) dispone de 31 mapas oficiales de peligro volcánico, que abarcan desde el volcán Tarapacá hasta el volcán Hudson, incluyendo versiones regionales y nacionales.



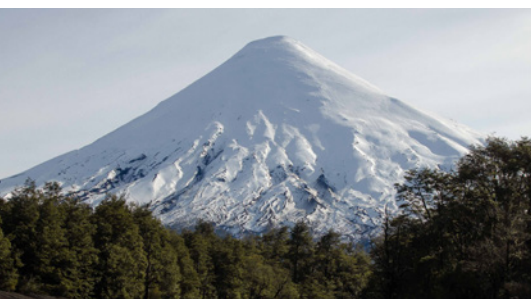
Mapa de peligros volcánicos simplificado de los volcanes Villarrica, Quetrupillán y Lanín
Modificado de Lara et al. (2011)

Tipos de volcanes en los Andes del sur de Chile

Existen diversos tipos de volcanes, cuya forma y tamaño varían en función de la composición del magma, la geografía y la frecuencia e intensidad de las erupciones. En los Andes del sur de Chile, los principales tipos son los siguientes:

Estratovolcán

Es el tipo de volcán más común de los Andes. Presenta una gran estructura cónica, generalmente simétrica, formada por lava y piroclastos. Se asocia a magmas de composición intermedia (contenido de SiO_2 entre 55 y 60 %, andesitas) y ricos en gases. Ejemplos emblemáticos son los volcanes Villarrica y Osorno.



Volcán Osorno

Fotografía: Claudia Dauré

Cono de ceniza (o de escoria)

Se forma a partir de una única erupción, que puede extenderse desde algunas semanas hasta pocos años. Estos conos son relativamente pequeños, con alturas que suelen variar entre 30 y 300 metros, y frecuentemente se asocian a la emisión de coladas de lava. Un ejemplo es el cono Navidad, ubicado en el flanco nororiental del volcán Lonquimay.



Cono Navidad

Fotografía: Daniel Basualto

Domo volcánico

Corresponde a estructuras con forma de domo, originadas por magmas muy viscosos, con escasa capacidad de fluir. Estos magmas suelen tener una composición ácida (contenido de SiO_2 entre 63 y 78 %, dacitas-riolitas). Un ejemplo destacado es el domo del volcán Chaitén, formado durante el episodio eruptivo de 2008.



Volcán Chaitén

Fotografía: Alejandra González

Maar

Se forma a partir de erupciones explosivas freatomagmáticas, que ocurren cuando el magma entra en contacto con agua subterránea. La alta explosividad genera cráteres amplios y poco profundos, rodeados generalmente por anillos de toba. Ejemplos notables son los maares del Grupo Volcánico Carrán-Los Venados.



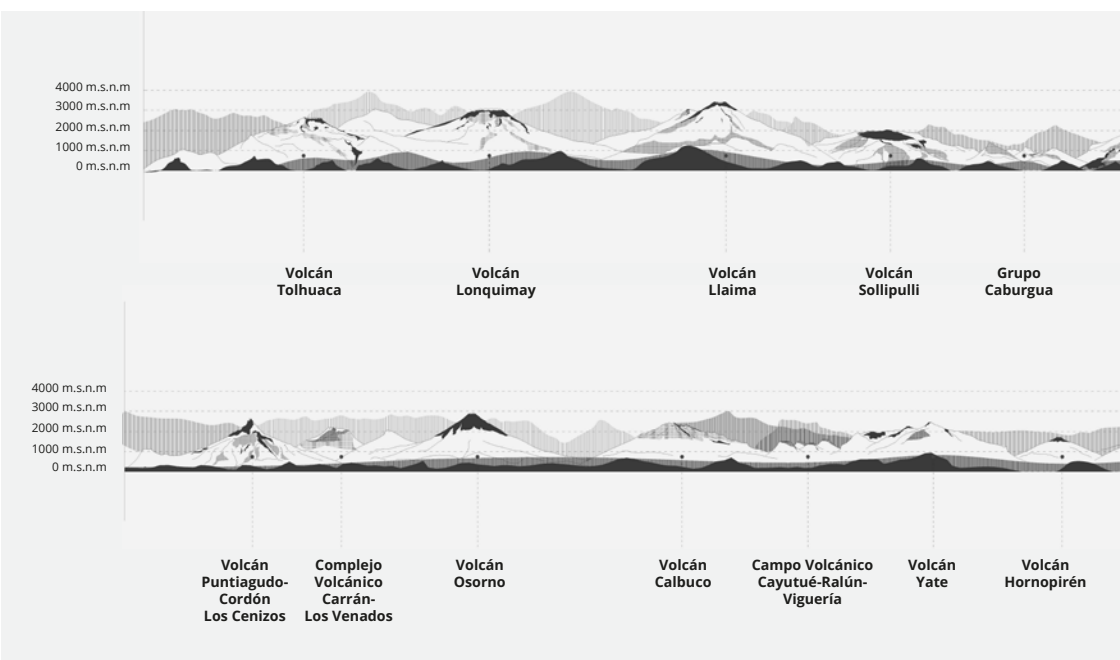
Maar Pocura

Fotografía: Claudia Dauré

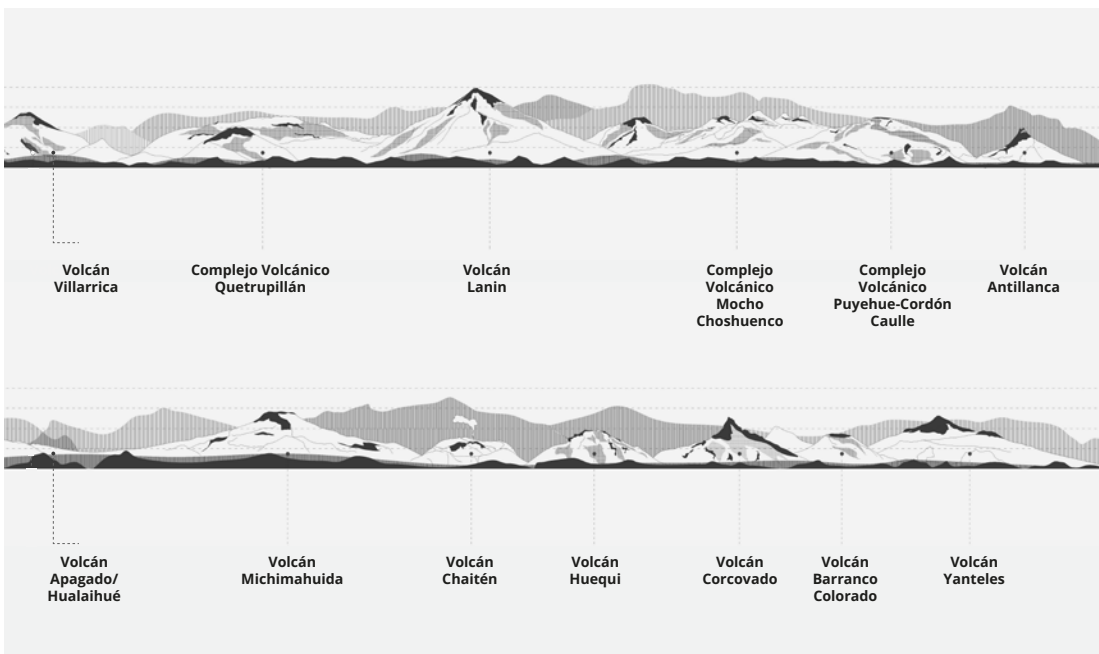
Los volcanes activos de los Andes del sur

Muchos de los volcanes del LNADS Chile han sido ampliamente estudiados debido a su actividad eruptiva reciente y al riesgo potencial que representan para las comunidades cercanas. Entre las erupciones históricas más explosivas destacan las del Puyehue-Cordón Caulle en 2011 y del Chaitén en 2008, ambas con impactos territoriales significativos.

Los volcanes activos de los Andes del sur



Les siguen, en intensidad, las erupciones del Calbuco (2015), Llaima (2007–2009) y Lonquimay (1988–1989). Otros eventos históricos de menor magnitud incluyen los del Complejo Volcánico Carrán–Los Venados (1979), Cordón Caulle (1960 y 1922), Mocho–Choshuenco (1864) y Osorno (1835). En 2015, el volcán Villarrica registró una erupción breve y moderada, pero relevante por su cercanía a centros poblados y turísticos.



Nota: Desde el punto de vista geológico, un volcán se considera activo si ha registrado algún tipo de actividad en los últimos 10.000 años.



Erupción del volcán Llaima, 2009
Fotografía: Daniel Basualto

Monitoreo en Chile: Red Nacional de Vigilancia Volcánica

El monitoreo instrumental de algunos volcanes activos en Chile se inició formalmente en 1996, con la creación del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS). Sin embargo, el verdadero salto en capacidad de vigilancia ocurrió en 2009, luego de la erupción del volcán Chaitén en mayo de 2008, cuando 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 la vigilancia de apenas 8 volcanes a un total de 45, fortaleciendo de manera sustantiva la capacidad de monitoreo, estudio y análisis de los volcanes.

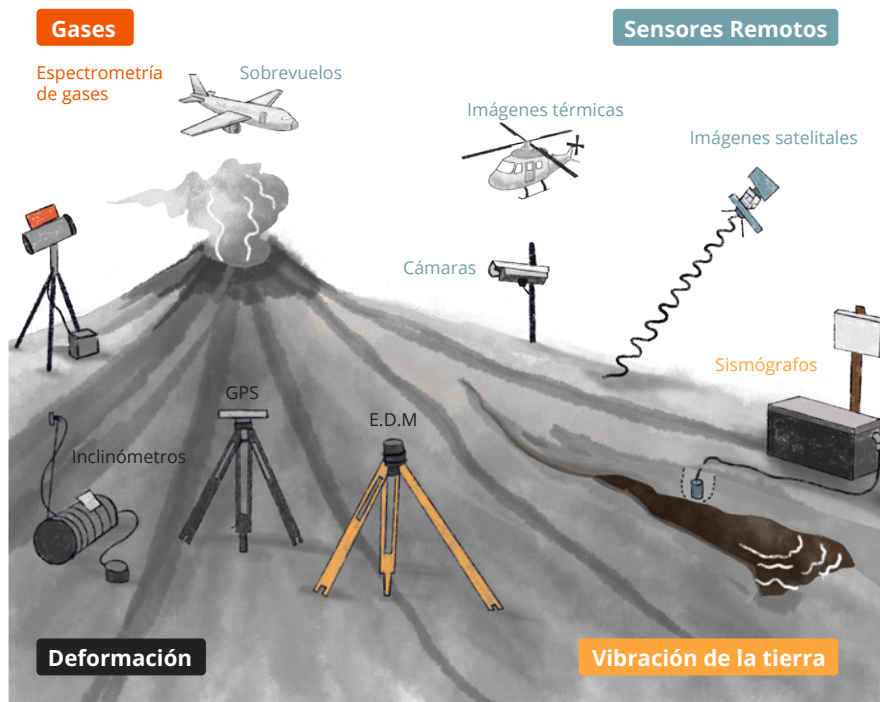
Actualmente, la RNVV se organiza en dos unidades principales y complementarias. La primera es el OVDAS, con sede en la ciudad de Temuco, encargado de la vigilancia instrumental en tiempo real de los 45 volcanes más peligrosos del país, distribuidos desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Aysén. La segunda corresponde a la Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos (UGPSV), ubicada en Santiago, responsable de la caracterización geológica de los volcanes activos y de la elaboración de mapas de peligros volcánicos, fundamentales para la planificación territorial y la gestión del riesgo.



Erupción del volcán Calbuco, 2015

Fotografía: Daniel Basualto

Técnicas de monitoreo volcánico



¿Cómo se monitorea un volcán?

Monitorear un volcán implica observar sus “señales vitales”. El monitoreo volcánico consiste en el registro y análisis sistemático de distintos parámetros físicos y químicos que permiten identificar cambios en la actividad interna de un volcán y anticipar posibles erupciones.

Este proceso combina mediciones remotas, realizadas a distancia, como el análisis en tiempo real de gases volcánicos (SO_2 , CO_2 y H_2S), la localización y clasificación de la sismicidad, la detección de la deformación de la superficie mediante GPS y satélites, y la vigilancia continua con cámaras ópticas y térmicas.

Estos datos se complementan con campañas de terreno, en las que se recolectan y analizan muestras de cenizas, gases y aguas emitidas por el volcán. La frecuencia y el tipo de mediciones varían según las características de cada volcán, su nivel de actividad y el tipo de muestreo requerido.

El volcán más activo de Chile: Villarrica

El volcán Villarrica es uno de los volcanes con mayor registro histórico de erupciones en Sudamérica. Se ubica entre los lagos Villarrica y Calafquén, y su forma cónica casi perfecta lo convierte en un hito del paisaje del sur de Chile.

Su actividad comenzó hace aproximadamente 650.000 años, con erupciones tanto explosivas como efusivas, caracterizadas por la emisión de flujos de lava, caída de tefra, flujos piroclásticos y lahares. Desde el año 1558, se han documentado más de 70 erupciones, predominantemente de carácter efusivo, lo que lo convierte en uno de los volcanes más activos y permanentemente monitoreados del país.



Cráter del volcán Villarrica

Fotografía: Daniel Basualto

Erupción del Complejo Volcánico Puyehue–Cordón Caulle (2011)

El Complejo Volcánico Puyehue–Cordón Caulle inició un nuevo ciclo eruptivo el 4 de junio de 2011, tras 51 años de reposo. Esta erupción constituye uno de los eventos volcánicos más significativos de las últimas décadas en Chile y Argentina.

La erupción fue precedida por un aumento progresivo de la sismicidad, detectado desde abril de ese año, que incluyó enjambres sísmicos y la aparición de sismos híbridos y de largo período, señales claras del ascenso de magma. Gracias al sistema de monitoreo, fue posible activar la alerta amarilla un día antes y la alerta roja pocas horas antes del inicio de la erupción, lo que resultó clave para la evacuación preventiva y la reducción del riesgo en las zonas expuestas.

La erupción inició con una fase explosiva de gran magnitud. A las 15:45 horas del 4 de junio, una columna eruptiva de 10–12 km de altura marcó el comienzo del evento, alcanzando su máximo desarrollo durante las primeras 27 horas con columnas de hasta 15 km, con una dispersión masiva de cenizas.



Erupción Cordón Caulle, 2011

Fotografía: Daniel Basualto

En la zona proximal chilena se acumularon depósitos de hasta 2 metros, mientras extensas áreas de Argentina resultaron cubiertas por ceniza. Durante esta etapa se emitieron cerca de $0,25 \text{ km}^3$ de tefra riolítica, formándose un cono de piroclastos de pómez en el centro de emisión.

Posteriormente, se desarrolló la fase efusiva, caracterizada por la emisión de una colada de bloques, que llegó a avanzar a tasas de $30\text{--}80 \text{ m}^3/\text{s}$ durante junio y julio, disminuyendo progresivamente hasta estabilizarse hacia octubre de 2011.

La erupción se prolongó hasta marzo de 2012, con episodios explosivos intermitentes de menor intensidad, que continuaron afectando el tráfico aéreo y a las comunidades cercanas. El impacto más significativo estuvo asociado a la dispersión y acumulación de cenizas, tanto en el paso Cardenal Samoré como en localidades argentinas, además del riesgo de desborde del río Nilahue.

El manejo de la crisis, sustentado en el monitoreo sísmico y en modelos de dispersión de ceniza y lahares, permitió tomar decisiones oportunas, como la evacuación inicial y la delimitación de áreas de riesgo, evidenciando la importancia de la ciencia y la alerta temprana en la gestión de emergencias volcánicas.



Erupción Cordón Caulle, 2011

Fotografía: Daniel Basualto



CAPÍTULO 2

SISTEMA DE FALLAS LIQUIÑE-OFQUI

La estructura oculta del paisaje natural

Las fallas tectónicas son el resultado de fuerzas profundas e invisibles que modelan la superficie terrestre. En los Andes del sur se desarrolla uno de los sistemas de fallas más extensos y activos del país: el **Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui**, que se extiende por más de **1200 km** a lo largo del territorio.

Fallas tectónicas: su rol en la dinámica de la Tierra

Las fallas tectónicas son fracturas de la corteza terrestre a lo largo de las cuales se produce un desplazamiento relativo entre bloques de roca. Se distinguen, por una parte, las fallas de interplaca, que corresponden al contacto entre placas tectónicas, y, por otra, las fallas de intraplaca, que se desarrollan al interior de una placa, ya sea oceánica o continental. En este último caso, también se las denomina fallas corticales.

En las zonas de subducción, el contacto entre placas tectónicas se expresa a través de fallas de gran escala conocidas como megafallas interplaca o *megathrust*. En el caso de Chile, una de estas fallas marca el límite entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana, y constituye la principal fuente de los grandes terremotos interplaca. Un ejemplo emblemático es el terremoto de Valdivia en 1960, el más poderoso registrado instrumentalmente a nivel mundial.

Además de esta megafalla interplaca, en Chile existen numerosas fallas activas al interior de la placa continental. Estas estructuras geológicas pueden variar considerablemente en tamaño, desde pequeñas rupturas locales hasta grandes sistemas de fallas con desplazamientos de decenas de kilómetros. Un ejemplo destacado es el Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (SFLO), que se extiende a lo largo del sur del país y cumple un rol fundamental en la distribución del volcanismo y la sismicidad en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Estas zonas de falla pueden alcanzar varios kilómetros de ancho y, en muchos casos, son más fáciles de identificar mediante imágenes satelitales o aéreas que a simple vista en terreno. La energía liberada durante el movimiento repentino a lo largo de fallas activas es la causa de la mayoría de los terremotos percibidos en superficie. No obstante, muchas fallas actualmente expuestas se encuentran inactivas y constituyen registros de antiguos episodios de deformación tectónica.

Nota: Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), una falla activa es aquella que ha registrado algún tipo de movimiento en los últimos 10.000 años.

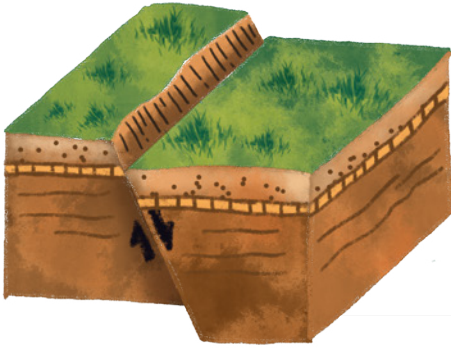
¿Las fallas corticales pueden generar grandes terremotos?

En las fallas corticales activas, los esfuerzos tectónicos se acumulan progresivamente debido a la fricción que impide el deslizamiento continuo entre bloques de la corteza. Cuando esta resistencia se supera, la liberación repentina de energía genera terremotos superficiales, conocidos como terremotos corticales. Las fallas capaces de producir estos eventos se denominan fallas sismogénicas.

Aunque suelen alcanzar magnitudes menores que los megaterremotos de subducción —como Valdivia (1960, Mw 9,5) o Maule (2010, Mw 8,8)—, los terremotos corticales pueden provocar sacudidas muy intensas, desplazamientos importantes del terreno y, en algunos casos, ruptura directa de la superficie en zonas habitadas.

A escala global, existen numerosos ejemplos de fallas corticales activas responsables de terremotos destructivos, como la falla de San Andrés (California), la falla del Norte de Anatolia (Turquía) o la falla de Altyn Tagh (China). Estas fallas se clasifican según el movimiento relativo de los bloques, que puede ser horizontal (de rumbo o desgarre), vertical (normal o inverso) u oblicuo.

Tipos de fallas geológicas



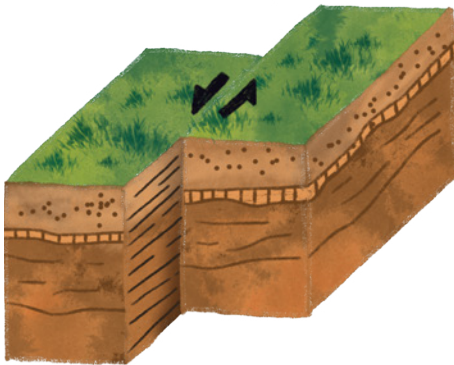
Falla normal

Una porción del terreno se hunde respecto de la otra; ocurre en contextos donde la corteza se estira.



Falla inversa

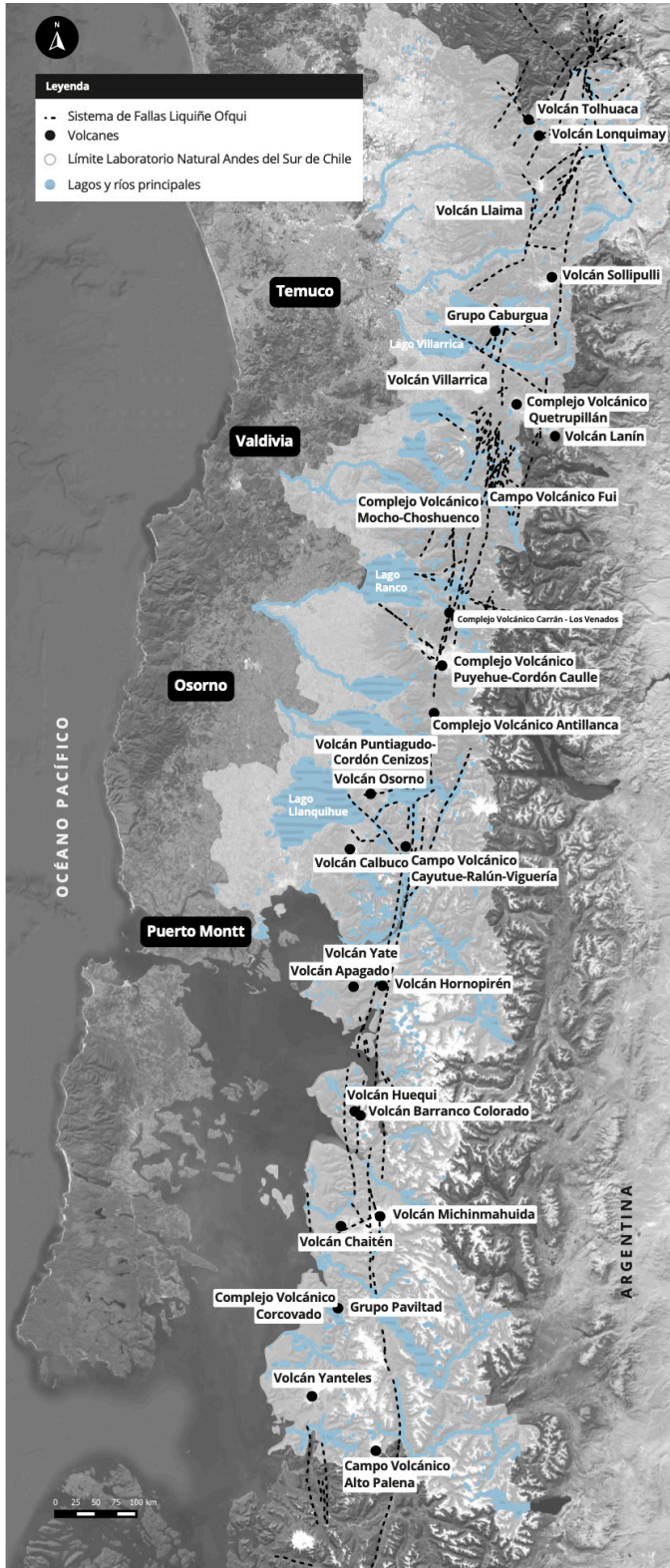
Un bloque se eleva sobre otro; se desarrolla cuando la corteza se comprime.



Falla de rumbo

Dos bloques se desplazan horizontalmente en direcciones opuestas, como si el terreno se deslizara lateralmente o se “rasgara” de lado a lado.

**Sistema
de Fallas
Liquiñe-Ofqui
y volcanismo
activo en
la Zona
Volcánica Sur
de los Andes**



Origen del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui

Una de las características geológicas más relevantes del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile es la presencia del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (SFLO), el principal conjunto de fallas de rumbo del sur del país. Este sistema se extiende por más de 1200 km, con fallas principales orientadas preferentemente en dirección norte-sur.

El SFLO se encuentra alineado con el arco volcánico activo de los Andes del sur, por lo que se clasifica como un sistema de fallas de intra-arco. Esta relación explica su rol clave en la localización del volcanismo y de las fuentes termales, ya que controla la presencia de zonas de alta permeabilidad que pueden favorecer —o, en ciertos casos, inhibir— el ascenso de magmas a través de la corteza.

El nombre Liquiñe-Ofqui hace referencia a los límites originalmente propuestos por los autores que definieron este sistema de fallas, identificando la localidad de Liquiñe, en la Región de Los Ríos, como su extremo norte, y el istmo de Ofqui, en la Región de Aysén, como su límite sur. Sin embargo, estudios más recientes indican que el sistema se prolonga hacia el norte hasta las cercanías de los volcanes Callaqui y Copahue, en la Región del Biobío.

¿Cómo influyen las fallas tectónicas en el comportamiento de los volcanes y las fuentes termales del sur de Chile?

Un estudio comparativo de los sistemas volcánicos Sollipulli y Cordón Caulle

En distintas regiones del mundo con volcanismo activo —como Indonesia, Nueva Zelanda o el sur de Chile— los volcanes se encuentran estrechamente vinculados a la actividad tectónica. La forma en que el magma se acumula y asciende bajo un volcán depende en gran medida de la estructura de la corteza terrestre, su espesor, el tipo de esfuerzos tectónicos predominantes (extensión o compresión) y la presencia de fallas y fracturas.

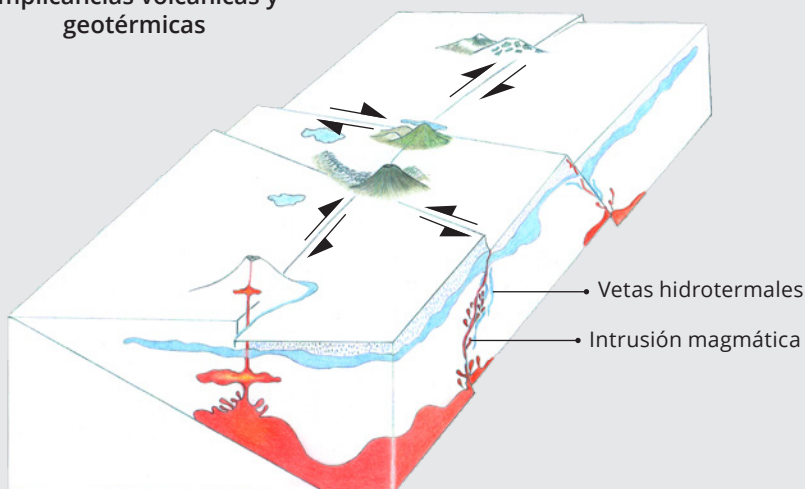
En ambientes de extensión, donde la corteza se “estira” y tiende a adelgazarse, se generan fracturas que facilitan el ascenso del magma, reduciendo el tiempo que este permanece almacenado en profundidad. En contraste, en contextos de compresión, en los que pareciera que la corteza colisiona, el ascenso del magma puede verse obstaculizado, favoreciendo su almacenamiento prolongado en la corteza, por miles de años, o incluso impidiendo que alcance la superficie. En este marco, las fallas tectónicas pueden actuar como conductos que facilitan la migración del magma, o como barreras que la dificultan, dependiendo de su orientación respecto de los esfuerzos locales.

Comprender cómo influyen las fallas tectónicas en el tiempo que permanece el magma bajo un volcán antes de una erupción es clave, ya el tiempo que el magma pasa acumulado influye en la probabilidad de generar erupciones explosivas. Además, define la posibilidad de formar sistemas geotermales de alta energía (ver Capítulo 3) y modula la capacidad de transportar y acumular metales en el largo plazo.

Para abordar esta pregunta, se analizaron gases de fumarolas en dos sistemas volcánicos controlados por fallas con comportamientos contrastantes: Sollipulli y Cordón Caulle. A partir del estudio del helio —un gas extremadamente liviano que actúa como un “reloj” del magma— se determinó que:

- En el volcán Sollipulli, las fallas facilitan el ascenso del magma, reduciendo su tiempo de acumulación bajo el volcán previo a una erupción y limitando la generación de una anomalía de calor tan abundante.
- En el Cordón Caulle, en cambio, las fallas dificultan el ascenso del magma, favoreciendo su almacenamiento prolongado, la acumulación de calor y el desarrollo de un gran sistema hidrotermal.

Implicancias volcánicas y geotérmicas



En síntesis, el estilo de deformación tectónica y el tipo de fallas influyen de significativamente en el tiempo de acumulación del magma en la corteza y en el comportamiento eruptivo de los volcanes, incluso entre volcanes geográficamente cercanos.

Referencias

- Sanchez-Alfaro, P., Tardani, D., Flores, P. P., Aron, F., Alvarez-Amado, F., Becerra, P., Rivas, S. & Munoz-Saez, C. (2023). Optimal geologic conditions for metal-rich hydrothermal systems in the Andes: insights from the Sollipulli and Cordón Caulle volcanic fields. En *Goldschmidt 2023 Conference*.
- Poblete-González, C., Grelet, T., Tardani, D., Pinti, D., Sanchez-Alfaro, P., Álvarez-Amado, F., Tassara, S., Robidoux, P., Pérez-Flores, P., Aron, F., Berlo, K., Taussi, M. (2025). Volcano-tectonic controls on magma residence time in arc crusts: Insights from noble gas geochemistry in the Andean Southern Volcanic Zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 661, 119352.

La falla continental más rápida de Chile

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.

Actividad sísmica reciente: Chilean Active Faults (CHAF)

¿Sabías que existe una base de datos integral de fallas continentales activas y potencialmente activas en Chile?

Chilean Active Faults (CHAF) es una base de datos científica que reúne información sobre fallas corticales con evidencias o indicios de actividad reciente, con el objetivo de homogeneizar, sistematizar y poner a disposición estos antecedentes para la comunidad científica, organismos públicos y la ciudadanía.

La base de datos integra información bibliográfica y cartografía estructural detallada, elaborada a una escala uniforme de 1:25.000, utilizando modelos digitales de elevación. Cada falla incluye datos sobre su geolocalización, geometría, tipo de movimiento y potencial sismogénico, constituyendo una herramienta clave para la evaluación de riesgos geológicos en el país.

Referencia

Maldonado, V., Contreras, M., & Melnick, D. (2021). A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1: 25,000 scale. *Scientific data*, 8(1), 20.

Terremotos asociados a fallas corticales: Tsunami de Aysén 2007

Un caso emblemático de sismicidad asociada a fallas corticales es el terremoto y tsunami del fiordo de Aysén en 2007. Si bien la Región de Aysén no forma parte del territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur, este evento resulta clave para comprender el comportamiento sísmico del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui.

Entre enero y junio de 2007 se registró un enjambre sísmico compuesto por más de 7200 sismos en un período acotado. Dos de los eventos principales ocurrieron el 2 y el 21 de abril, con magnitudes Mw 6,1 y Mw 6,2, respectivamente. Este último desencadenó deslizamientos masivos y varios tsunamis locales, que causaron la muerte de 10 personas.

Estudios posteriores indicaron que las características del enjambre sísmico de Aysén son compatibles con terremotos asociados al transporte de fluidos, como magma o aguas termales, reforzando la hipótesis del control tectónico del SFLO sobre el volcanismo y la geotermia regional.

Dato: El análisis de sedimentos del fiordo de Aysén muestra que han ocurrido al menos siete eventos similares en los últimos 12.000 años.



CAPÍTULO 3 CONTINUO DE FUENTES TERMALES

El calor secreto bajo los Andes

En el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile se concentra una notable diversidad de fuentes termales, verdaderas ventanas al **poder geotérmico de la Tierra**. Estas manifestaciones superficiales revelan la transferencia de calor desde las profundidades del planeta hacia la superficie, en un territorio donde **volcanismo, tectónica y agua** interactúan de manera excepcional.

Origen de los sistemas geotermales

Las fuentes termales, los géiseres y las fumarolas son la expresión de sistemas geotermales, que transportan energía térmica desde el interior de la Tierra hasta la superficie.

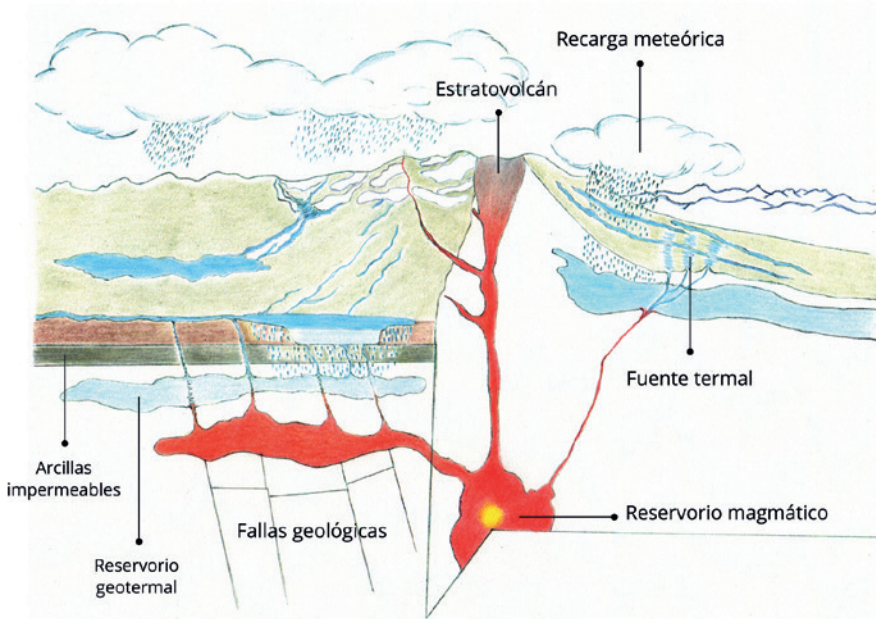


Termas de Porcelana
Fotografía: Claudia Dauré



Fumarolas del Toro, Cañón del Blanco
Fotografía: Carmen Mariqueo

Sistema geotermal



Para que se forme un sistema geotermal es necesaria la concurrencia de varios elementos fundamentales:

- **Fuente de calor:** Origen de la energía térmica, generalmente asociado a un cuerpo magmático de volumen suficiente para transferir calor de manera eficiente a la recarga de aguas.
- **Recarga de aguas superficiales:** Agua proveniente de precipitaciones, deshielos o incluso del mar, que infiltra por gravedad hacia el subsuelo y se calienta al aproximarse a la fuente de calor.
- **Reservorio para acumular calor:** Zona constituida por rocas porosas y permeables donde se acumulan las aguas calientes. En estos reservorios pueden perforarse pozos para extraer fluidos a altas temperaturas y presiones (superiores a 200 °C y 10 bar).
- **Capa impermeable:** Nivel geológico que limita la pérdida de calor y fluidos del reservorio, y restringe la entrada directa de aguas frías desde la superficie.
- **Fallas y fracturas:** Estructuras geológicas que mantienen una permeabilidad elevada, permitiendo un transporte eficiente del calor y los fluidos.

Sistemas geotermales en los Andes del sur de Chile: influencia tectónica y magmática

Existe una gran variedad de sistemas geotermales, cuya naturaleza depende del contexto geológico y de las características de sus componentes principales. En Chile, y especialmente en los Andes del sur, se observa una clara relación espacial entre las fuentes termales, el volcanismo activo (capítulo 2) y la presencia de fallas tectónicas (capítulo 3). El origen y la distribución de estas manifestaciones termales están directamente determinados por las características de los volcanes y de los sistemas de fallas activas del territorio.

El funcionamiento de un sistema geotermal comienza con la infiltración del agua de recarga, que puede provenir de la lluvia, la nieve o incluso del mar, y que desciende por el subsuelo bajo la acción de la gravedad. Al aproximarse a una fuente de calor, como un cuerpo magmático, el agua se calienta, disminuye su densidad y asciende debido a la fuerza de flotabilidad. Este proceso genera celdas convectivas, en las que la convección actúa como un mecanismo altamente eficiente de transferencia de calor.

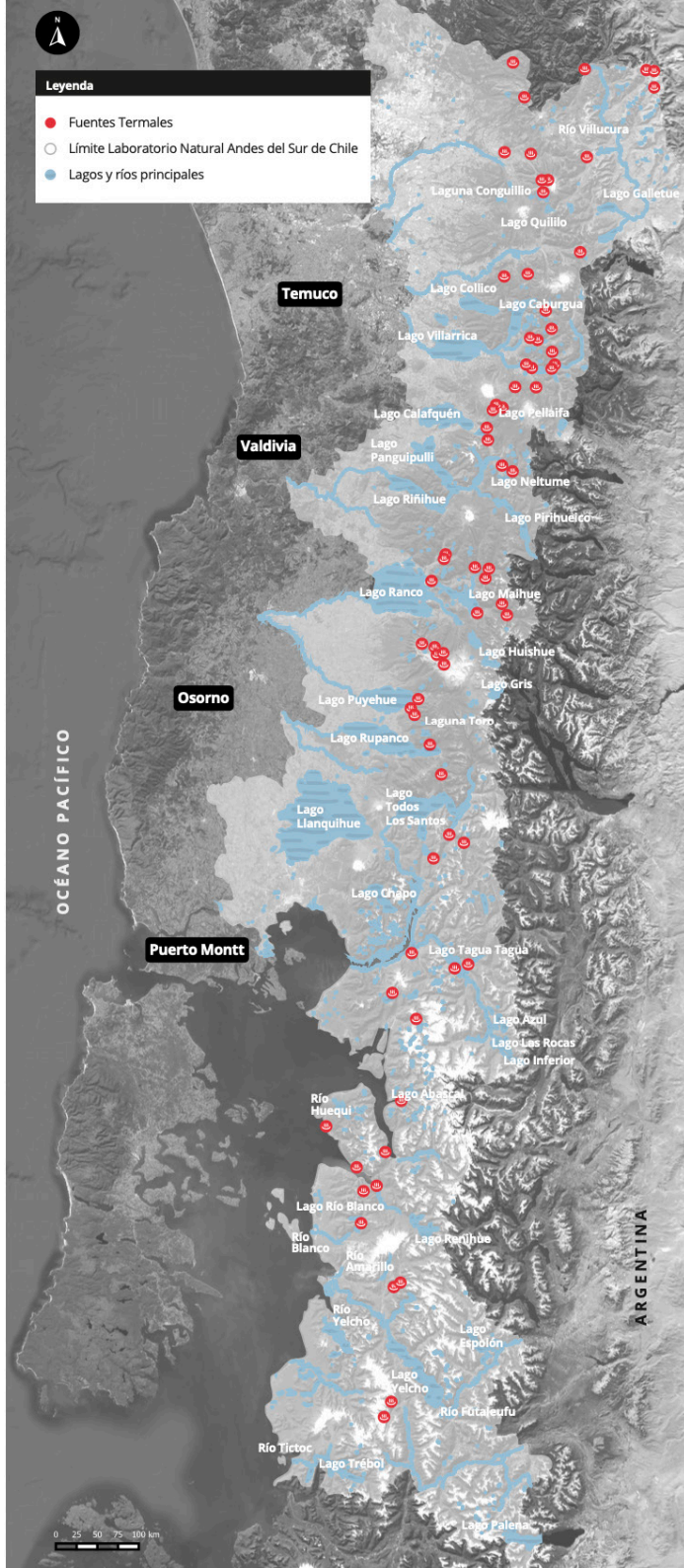
Una parte de estos fluidos termales alcanza naturalmente la superficie, dando origen a fuentes termales. Otra parte puede acumularse en reservorios geotermales profundos, generalmente a más de 1500 metros de profundidad, que pueden ser aprovechados mediante perforaciones para la generación de energía geotérmica.



Géiseres de Porcelana, comuna de Chaitén

Fotografía: Alejandra González

Catastro y distribución de termas en los Andes del sur



¿Cómo se puede aprovechar la energía geotérmica?

El aprovechamiento de la energía geotérmica depende de la cantidad de energía contenida en los fluidos subterráneos, conocida como “cantidad de energía contenida en el calor de la Tierra” o entalpía. Según este criterio, los sistemas se clasifican en aquellos de alta y baja entalpía, lo que determina sus posibles usos.

Los sistemas geotérmicos de alta entalpía, con temperaturas superiores a 150 °C, permiten la generación de electricidad mediante turbinas impulsadas por vapor extraído desde pozos profundos que alcanzan reservorios geotermales ubicados a más de 1500 metros. Esta forma de generación eléctrica es renovable, presenta bajas emisiones de gases de efecto invernadero y tiene la ventaja de operar de manera continua, las 24 horas del día durante todo el año, sin depender de las condiciones climáticas o del ciclo solar. Su uso cuenta con más de un siglo de historia a nivel mundial.

En cambio, los sistemas de baja entalpía, con temperaturas entre 30 y 150 °C, no permiten la generación eléctrica, pero sí pueden utilizarse en aplicaciones directas como calefacción de espacios, climatización de invernaderos, secado de alimentos y otros usos residenciales e industriales eficientes y sostenibles. Existen además sistemas de muy baja entalpía, que no están asociados a una fuente puntual de calor, sino que aprovechan la relativa estabilidad térmica del suelo a profundidades de 1 a 2 metros. Estos sistemas son utilizados por climatizadores llamados bombas de calor, capaces de ser hasta cinco veces más eficientes que los aires acondicionados convencionales.

Uso directo de la geotermia: ciencia, innovación y tecnología aplicada

El uso directo de la geotermia se refiere al aprovechamiento del calor del interior de la Tierra sin transformarlo en electricidad, aplicándolo directamente en climatización, agua caliente domiciliaria y procesos industriales o agrícolas.

En la zona cordillerana de la Región de Los Ríos se implementó un proyecto piloto de uso directo de energía geotérmica con enfoque productivo. Ejecutado por el Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), el proyecto consistió en la instalación de un invernadero y un secador de alimentos en las termas Hipólito Muñoz, ubicadas en la localidad de Liquiñe, comuna de Panguipulli. Este sistema innovador aprovecha directamente el calor de las fuentes termales, permitiendo la calefacción del invernadero y del secador mediante una red de tuberías.



Invernadero de Liquiñe

Fotografía tomada de Ibarra et al. (2022)

Otros proyectos destacados del CEGA incluyen la implementación de calefacción mediante bombas de calor geotérmicas en un establecimiento educacional de Curacautín, Región de La Araucanía, y en la posta rural de Illahuapi, comuna de Lago Ranco. Estos casos ilustran cómo la ciencia y la tecnología pueden contribuir de manera concreta a mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Referencia

Ibarra Mendoza, C., Vargas-Payera, S., & Morata Céspedes, D. (2022). *Geotermia en Chile: un siglo de historia para un desarrollo sustentable*. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188572>

Geotermia en Chile

El uso de la geotermia en Chile ofrece importantes oportunidades para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles, gracias a su capacidad de generar energía limpia, continua y de bajo impacto ambiental. Sin embargo, su desarrollo también ha enfrentado conflictos y controversias.

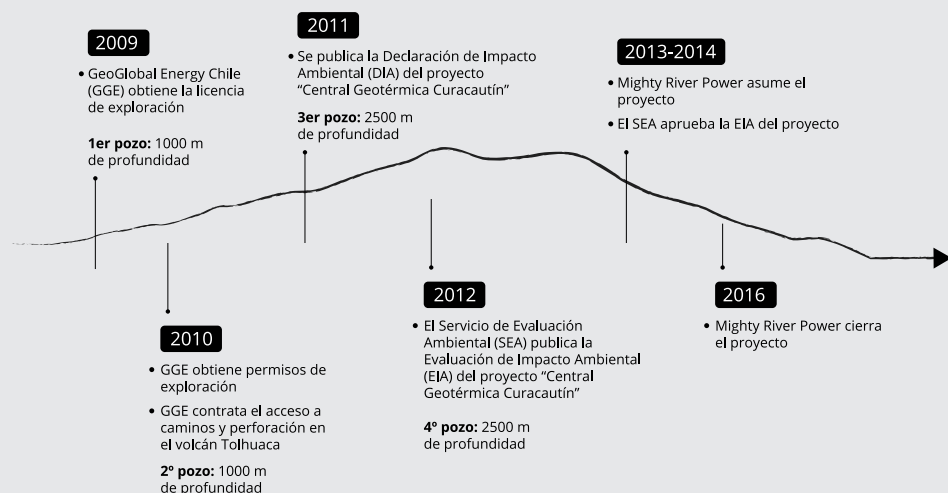
Uno de los principales focos de conflicto ha sido la oposición de comunidades locales, motivada por diversos factores. Entre ellos se encuentran el bajo nivel de conocimiento sobre la tecnología geotérmica, así como dimensiones sociales y culturales vinculadas a la desconfianza institucional, la relación espiritual con los volcanes y la incertidumbre respecto de los posibles impactos ambientales. Estos elementos influyen de manera significativa en la percepción pública de los proyectos geotérmicos.

Un aspecto crítico ha sido la limitada participación de las comunidades en las decisiones asociadas a la exploración y desarrollo de estos proyectos. La ausencia de procesos de consulta adecuados ha profundizado las tensiones y debilitado la viabilidad social de muchas iniciativas.

Para que la geotermia se consolide como una fuente de energía sostenible y equitativa, será necesario avanzar en procesos de diálogo inclusivo con las comunidades locales, en el desarrollo de marcos normativos claros y en la implementación de tecnologías que minimicen los impactos ambientales. La consulta y la participación social deben constituir ejes centrales en la planificación y ejecución de proyectos geotérmicos.

Factores y dinámica de la percepción social de la energía geotérmica: Estudio de caso del proyecto de exploración Tolhuaca

Entre 2009 y 2016 se desarrolló el proyecto de exploración geotérmica Tolhuaca, en el flanco noroeste del volcán del mismo nombre, entre las regiones del Biobío y La Araucanía. Aunque alcanzó una fase avanzada, con la perforación de cuatro pozos profundos, el proyecto fue finalmente cancelado debido a dificultades económicas, la lejanía de la red de transmisión eléctrica, la falta de financiamiento bancario y conflictos con comunidades locales.



Un estudio (Vargas-Payera, et al., 2020) basado en entrevistas y grupos focales analizó la percepción de los actores locales a lo largo del proyecto. Inicialmente predominó el desconocimiento sobre la geotermia; luego surgieron expectativas de empleo y desarrollo, junto con preocupaciones por posibles impactos en el turismo, el paisaje y la identidad cultural. El análisis evidenció visiones diversas entre autoridades, comunidades indígenas y organizaciones locales, mostrando que la aceptación social depende del momento y la forma en que se involucra a las comunidades.

Entre los factores que moldearon la percepción social se identificaron:

- **Actividades de la empresa:** la forma de comunicar, relacionarse y promover la participación influyó directamente en la percepción del proyecto.
- **Operaciones de exploración:** las perforaciones y el muestreo generaron tanto expectativas como inquietudes.
- **Contexto local:** la fuerte presencia del turismo y la cultura mapuche otorgó una especial sensibilidad frente a cambios en el paisaje, la identidad local y la espiritualidad.

El estudio concluye que la aceptación social de la energía geotérmica depende de un diálogo temprano, transparente y respetuoso, adaptado al contexto territorial.

Referencia

Vargas-Payera, S., Martínez-Reyes, A., & Ejderyan, O. (2020). Factors and dynamics of the social perception of geothermal energy: Case study of the Tolhuaca exploration project in Chile. *Geothermics*, 88, 101907.

Las termas y el turismo: un encuentro entre bienestar y naturaleza

A nivel mundial, el turismo de bienestar se encuentra en expansión. Cada vez más personas privilegian experiencias vinculadas a la salud, el descanso y la conexión con la naturaleza por sobre el turismo tradicional. En este contexto, las termas destacan por su combinación de bienestar, paisaje y cultura local.

Los Andes del Sur de Chile constituyen un territorio privilegiado para este tipo de turismo, gracias a la abundancia de fuentes termales insertas en paisajes de gran belleza, caracterizados por lagos, bosques nativos y volcanes activos. Algunos centros destacan por sus propuestas arquitectónicas, como las termas Geométricas en Coñaripe, que integran principios de diseño ecológico y realzan el entorno natural. Otros mantienen un carácter más rústico, donde el valor reside en la experiencia directa y auténtica en contacto con la naturaleza.

Estas fuentes termales no solo ofrecen bienestar a quienes las visitan, sino que también aportan al desarrollo de las economías locales, fortaleciendo un vínculo sostenible entre turismo, territorio y energía geotérmica viva.

Nota: La provincia de Panguipulli, con más de 17 centros termales y 35 termas, se distingue como el territorio con mayor concentración de termas en Sudamérica, conformando un verdadero corredor termal.

The background image is a full-page photograph with a strong orange color overlay. It depicts a person standing in a vast, desolate landscape that appears to be a dry lake bed or a field of cracked earth. In the distance, a large, rugged mountain with a snow-capped peak rises against the sky. The overall mood is one of isolation and environmental hardship.

CAPÍTULO 4 TERRITORIO DE DESASTRES

Cicatrices en el paisaje y en la memoria

Los Andes del sur han sido escenario de eventos que han dejado cicatrices profundas, tanto en el paisaje como en la memoria de sus habitantes. En esta región, los desastres no son una posibilidad lejana, sino una **condición latente del territorio**.

¿Qué ha causado los recientes desastres en los Andes del sur?

El contexto geológico en el que se encuentra ubicado el LNADS Chile expone al territorio a una amplia variedad de peligros geológicos, como terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis lacustres y remociones en masa, entre otros. Estos fenómenos representan una amenaza natural para gran parte del territorio chileno, y algunos de ellos han tenido efectos catastróficos en los Andes del sur. Por ello, la comprensión de los riesgos y desastres asociados se vuelve un aspecto fundamental para el desarrollo de la investigación científica y su aplicación práctica. A continuación, se revisa una cronología de los desastres de mayor impacto ocurridos en las últimas décadas.

Cronología de desastres en los Andes del sur

Remociones en masa co-sísmicas asociadas al terremoto de Valdivia (1960)

Las altas aceleraciones en superficie asociadas al terremoto de Valdivia de 1960 gatillaron numerosas remociones en masa en distintas localidades del centro-sur de Chile. Un caso emblemático por su impacto social fue el colapso repentino de millones de metros cúbicos de tierra en el cauce del río San Pedro. En este sector, tres grandes deslizamientos bloquearon el curso del río, creando represas naturales que amenazaron con liberar súbitamente su fuerza destructiva sobre las comunidades río abajo.

La situación era crítica: alrededor de 60.000 personas estaban en peligro. Las autoridades, junto con científicos y la comunidad local, se movilizaron para controlar la amenaza. Se planificó la liberación controlada del agua contenida tras los deslizamientos, conocidos como los “Tacos” 3, 2 y 1. Así, lo que pudo haber derivado en una tragedia aún mayor quedó inscrito en la memoria colectiva bajo el nombre de “El Riñihuazo”, recordándonos tanto la fragilidad del paisaje como la capacidad de organización humana frente a los desastres.

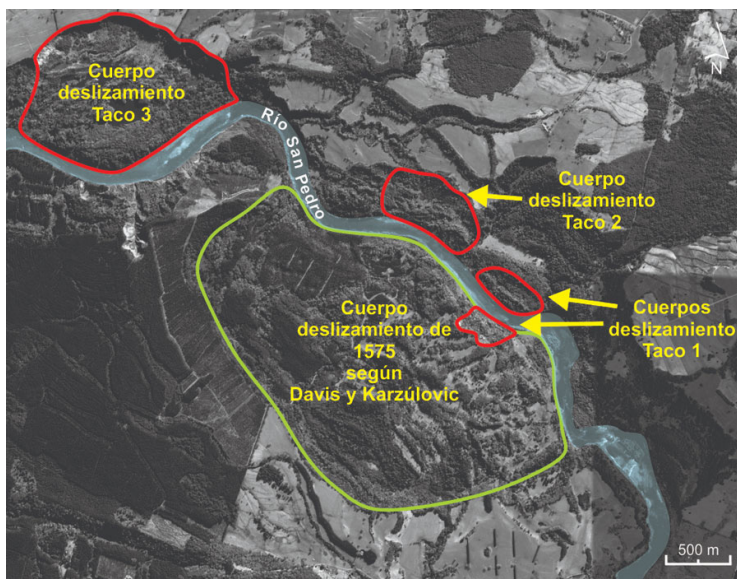


Imagen satelital de cuerpos de movimientos en masa en el río San Pedro

Tomado de Araya et al. (2014)

Erupciones del volcán Villarrica (1948–1949 y 1964)

En abril de 1948, el volcán Villarrica comenzó a mostrar señales claras del inicio de un nuevo ciclo eruptivo. Las noches en Pucón adquirieron un matiz inquietante, cuando desde la ciudad se observaba el resplandor del material incandescente que emergía desde el cráter. Para octubre, las explosiones de lava alcanzaban los 300 metros sobre su borde.

El 18 de octubre, a las 6:25 de la mañana, se desencadenó la fase más violenta del ciclo eruptivo. La nieve acumulada en las laderas del volcán se derritió rápidamente, generando una serie de flujos de barro conocidos como lahares, que descendieron por los ríos circundantes. En el flanco norte, los ríos Voipir, Molco, Loncotraro, Correntoso y Turbio canalizaron estos flujos, que arrasaron bosques, caminos y viviendas hasta alcanzar el lago Villarrica. En el flanco sur, un gran lahar descendió hacia Coñaripe, llegando hasta el lago Calafquén.

El desastre no solo transformó el paisaje, sino que dejó una profunda huella en la historia regional: se registraron al menos 50 personas fallecidas y más de 100 heridas.

Otro evento relevante ocurrió en 1964. Esta erupción generó una colada de lava que rápidamente dio origen a cinco lahares mortales. Cuatro de ellos descendieron por los esteros ubicados entre Villarrica y Pucón, colmatando los cauces que desembocan en el lago Villarrica. La fuerza de los flujos destruyó puentes y provocó un aumento significativo del nivel del lago, generando inundaciones que afectaron los campos y pusieron en riesgo las tierras circundantes. El quinto lahar, aún más destructivo, descendió por el flanco sur del volcán hacia Coñaripe, destruyendo casi por completo esta localidad.



Erupción del volcán Villarrica (1 de enero de 1949), observada desde la ciudad de Villarrica.

Fuente: Diario Austral de Temuco, tomada de Lara (2004)

Tsunami del lago Cabrera (1965)

El 19 de febrero de 1965, la calma del lago Cabrera se vio abruptamente interrumpida cuando una porción del glaciar ubicado en la ladera suroeste del volcán Yate colapsó. El desprendimiento de enormes bloques de hielo y sedimentos impactó el lago, generando un tsunami cuya ola alcanzó aproximadamente 25 metros de altura. Este inesperado desastre dejó un saldo de 27 personas fallecidas.



Tragedia del lago Cabrera / Revista VEA, 1965

Flujo de detritos en caleta Buill (2002)

El viernes 3 de mayo de 2002, la tranquilidad de la caleta Buill, en la comuna de Chaitén, se vio interrumpida de manera repentina. A las 20:30 horas, un violento flujo de detritos descendió desde una quebrada ubicada a unos 4 kilómetros al sur de la caleta, arrasando con todo a su paso. Dos viviendas fueron sepultadas bajo toneladas de lodo y rocas, y doce personas perdieron la vida. La magnitud del evento generó una conmoción que resonó en todo el país, convirtiéndose en titular de noticias a nivel nacional.

Una semana después del evento, geólogos de SERNAGEOMIN se desplazaron a la zona afectada para evaluar el desastre. El análisis del terreno permitió concluir que el flujo fue causado por el deslizamiento de sedimentos de origen glacial acumulados en las cabeceras de la quebrada, activados por intensas precipitaciones que actuaron como detonante sobre un sistema geológico y geomorfológicamente inestable.



Abanico aluvial producto
del flujo de detritos
principal

Imagen tomada de
Fernández y Arenas (2002)

Erupción del volcán Chaitén (2008)

El 2 de mayo de 2008, el volcán Chaitén entró en erupción de manera inesperada, desencadenando una de las erupciones más poderosas de las últimas décadas en Chile y el mundo. La fase explosiva inicial se caracterizó por una intensa emisión de cenizas que se prolongó por cerca de dos semanas. Las intensas precipitaciones posteriores removilizaron este material, generando aluviones volcánicos e inundaciones que, el 12 de mayo, devastaron la ciudad de Chaitén, previamente evacuada.

Posteriormente, la erupción evolucionó hacia una fase efusiva que se extendió por cerca de dos años, durante la cual se formó un domo riolítico de grandes dimensiones, similar al que existía antes del evento y que se había construido hace unos 5000 años. Aunque esta etapa fue menos violenta, persistió una columna eruptiva intermitente que dispersaba ceniza sobre la región.

Entre junio de 2008 y febrero de 2009, el domo de lava experimentó varios colapsos, generando desprendimientos de rocas y pequeñas corrientes de densidad piroclástica (PDC) dentro de la caldera. Dos de estos flujos piroclásticos principales descendieron por el valle del río Chaitén, después de una ruptura en la pared sur de la caldera. El colapso más significativo ocurrió el 19 de febrero de 2009, produciendo el mayor PDC registrado en el valle del río Chaitén y marcando el inicio de una nueva fase de crecimiento del domo que se extendió hasta finales de 2009 o posiblemente hasta 2010.



Erupción del volcán Chaitén, 2008

Fotografía: Daniel Basualto

Aluvión de Villa Santa Lucía (2017)

Durante la mañana del 16 de diciembre de 2017, un desastre de gran magnitud afectó a la localidad de Villa Santa Lucía. Desde la cabecera del valle del río Burritos, un enorme deslizamiento se originó en el cordón Yelcho, movilizando una mezcla de sedimentos, lodo y bloques de hielo. Al descender por el valle, el flujo de detritos arrasó todo a su paso, cubriendo cerca del 50 % del área urbana y arrastrando a personas y viviendas en su camino. La ruta 7, una de las principales vías de la región, quedó sepultada bajo tres kilómetros de barro y rocas.

Este evento fue el resultado de la convergencia de múltiples factores: pendientes abruptas, las rocas intensamente fracturadas del cordón Yelcho, retroceso glaciar, presencia de un lago glacial y un episodio de lluvias intensas que actuó como detonante final del deslizamiento masivo. El balance fue trágico, con 21 personas fallecidas y una persona desaparecida.



Área de generación y escarpe de remoción en masa en las nacientes del río Burritos

Fotografía: Claudia Dauré

La creación de SENAPRED: un nuevo enfoque para la gestión de desastres en Chile

A partir de enero de 2023 comenzó a operar el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), entidad que reemplazó a la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), institución que funcionó durante casi 49 años. SENAPRED se constituye como el organismo técnico del Estado encargado de planificar, coordinar y gestionar los recursos públicos y privados destinados a la prevención y respuesta frente a emergencias y desastres, tanto de origen natural como antrópico.

Este cambio institucional responde a la promulgación de la Ley 21.364, que establece a SENAPRED como la entidad central en la elaboración y ejecución de planes y estrategias para hacer frente a situaciones de emergencia. Su rol no se limita únicamente a la atención inmediata de desastres, sino que incorpora un enfoque preventivo y anticipatorio, orientado al desarrollo de modelos y planes de gestión del riesgo a escala nacional, regional, provincial y comunal.

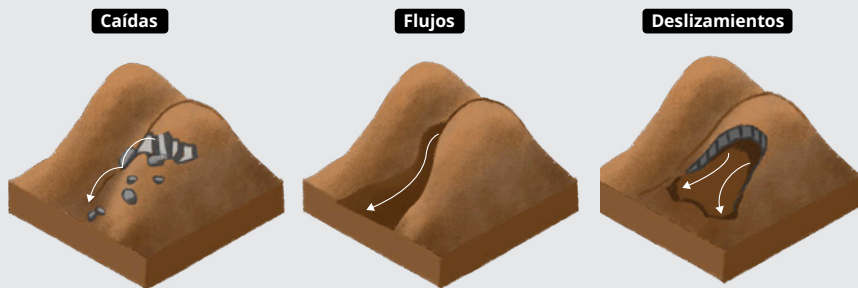
En este marco, SENAPRED trabaja de manera articulada con ministerios, delegaciones presidenciales, gobernaciones regionales, municipios y organismos del sistema de protección civil, fortaleciendo la coordinación interinstitucional y la capacidad de respuesta del Estado. Este nuevo enfoque busca optimizar el uso de los recursos disponibles, mejorar los procesos de toma de decisiones y avanzar hacia una gestión integral del riesgo, capaz de enfrentar de manera más eficaz los desafíos que imponen los desastres en un territorio geológicamente activo como el de los Andes del sur de Chile.

¿Qué son las remociones en masa?

Las remociones en masa corresponden a procesos de movilización, lenta o rápida, de volúmenes variables de suelo, roca o una combinación de ambos materiales, que se desplazan pendiente abajo principalmente bajo la acción de la gravedad. Entre los principales tipos se incluyen los deslizamientos de tierra (rotacionales y traslacionales), flujos de detritos o aluviones, caídas de rocas, desprendimientos y la reptación del suelo.

Su ocurrencia responde a la interacción entre factores internos —como la litología, la estructura geológica, el comportamiento hidrogeológico y las propiedades físicas— y factores externos, entre los que se incluyen la aplicación de cargas estáticas o dinámicas, cambios en las condiciones meteorológicas y modificaciones en la geometría del relieve, ya sea naturales o inducidas por la acción humana, como la intervención de taludes.

Remociones en masa



En Chile, la relación entre remociones en masa y eventos de precipitaciones intensas ha sido ampliamente documentada tanto en estudios científicos como en crónicas periodísticas desde finales del siglo XX. Independientemente de su tipo o magnitud, estos procesos suelen provocar una degradación significativa del paisaje, con pérdida de suelo y vegetación, y en algunos casos generan daños irreversibles.

Los ambientes andinos son particularmente propensos a estos fenómenos, debido a la combinación de secuencias sedimentarias y volcanoclásticas intensamente deformadas tectónicamente, actividad volcánica reciente, y paisajes modelados por glaciaciones pleistocénicas que dejaron valles profundos, laderas empinadas y grandes volúmenes de depósitos sueltos en condiciones de equilibrio inestable. Tras el retiro de los glaciares, se intensificó la dinámica fluvial, lo que favoreció el transporte y depositación de materiales no consolidados. Cuando estos depósitos se localizan en pendientes abruptas, el escurrimiento superficial del agua actúa como un potente agente desestabilizador.

La ocurrencia de remociones en masa se encuentra estrechamente vinculada a períodos de lluvias intensas, deshielos o procesos de ablación, lo que evidencia su dependencia de las condiciones hidrometeorológicas.

Referencias:

Cruden, D. (1991). A simple definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. No. 43, p. 27-29.

Hauser, A. (1993). *Remociones en masa en Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín No. 45, p. 7-29.



Flujo de detritos en caleta Buill, 2002
Vista de depósitos de flujos secundarios en límite sur del flujo principal
Imagen tomada de Fernández y Arenas (2002)

The background image is a landscape photograph of a lake, likely Lake Titicaca, with mountains in the distance and trees in the foreground. The entire image is covered with a warm, orange-brown color filter. The text is centered in the upper half of the image.

CAPÍTULO 5

GRADIENTES DE RESERVAS DE AGUA DULCE

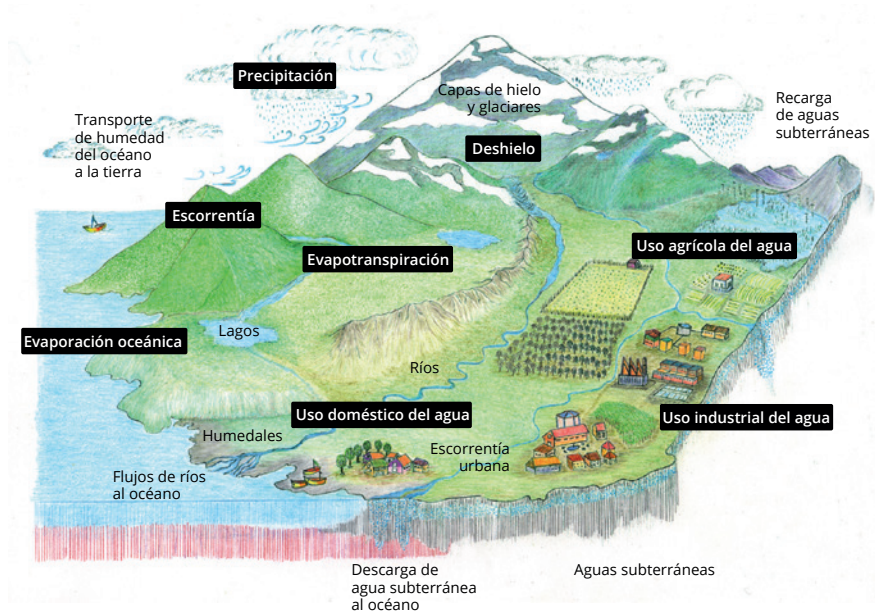
Cuencas, ríos y glaciares que sustentan la vida

En las cumbres de los Andes del sur se origina una red vital que fluye desde el hielo hasta el océano. **La montaña actúa como una torre natural de agua**, donde la nieve, los glaciares y los ríos se articulan en un sistema continuo que sostiene ecosistemas, comunidades y culturas en permanente interacción con el ciclo hídrico del planeta.

El pulso vital del agua en los Andes del sur

Los sistemas hídricos de los Andes del sur de Chile forman parte inseparable de la dinámica geológica y climática descrita en los capítulos anteriores. Su origen, distribución y comportamiento están profundamente condicionados por la tectónica activa, el volcanismo, la historia glacial y los procesos geomorfológicos que modelan este territorio. Más allá de su valor paisajístico y ecológico, el agua constituye un componente clave del Laboratorio Natural Andes del Sur, al registrar y responder de manera sensible a cambios ambientales, eventos extremos y transformaciones antrópicas. Comprender estos sistemas permite no solo valorar su rol en la biodiversidad y el bienestar humano, sino también anticipar riesgos, conflictos y desafíos asociados a su uso y conservación.

El ciclo del agua



La cordillera de los Andes es reconocida como una gran “torre de agua” que alberga glaciares, aguas superficiales y subterráneas fundamentales para el ciclo hidrológico y la provisión de agua dulce en gran parte de Chile, especialmente en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Esta imponente cadena montañosa funciona como un reservorio natural: los glaciares y las nieves perpetuas almacenan agua que, al derretirse, fluye hacia ríos y arroyos superficiales, alimentando también los acuíferos subterráneos. Este flujo sostiene el equilibrio de los ecosistemas y las actividades humanas en las zonas bajas, donde el agua se acumula en depresiones intermedias, como lagos y humedales, antes de desembocar en el océano.

En las alturas andinas, el agua inicia un viaje silencioso. Cae como lluvia o nieve sobre las cumbres, se acumula en glaciares y capas de nieve, y permanece allí hasta que el aumento de las temperaturas activa el deshielo. Entonces desciende por quebradas y valles, alimentando ríos, lagos y acuíferos que dan vida a los bosques, a la tierra y a quienes la habitan. Finalmente, regresa al mar, cerrando un ciclo tan antiguo como la montaña misma.

Cuencas hidrográficas: la red invisible que sostiene el agua

Desde una perspectiva física, una cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por la topografía en el que todas las aguas —superficiales y subterráneas— convergen hacia un mismo punto de salida, ya sea un río, un lago, un embalse o el mar. Este concepto no solo es clave desde el punto de vista hidrológico, sino que también constituye una unidad funcional para la gestión integral del territorio, al articular dimensiones ecológicas, sociales y económicas.

La gestión integrada de cuencas se vuelve esencial frente a los desafíos actuales asociados a la disponibilidad, distribución y calidad del agua. En un contexto de cambio climático, en el que se alteran los patrones de precipitación y aumenta la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones, y de creciente presión antrópica asociada a la agricultura intensiva, la urbanización y la industria, una gestión sostenible de las cuencas resulta crucial para equilibrar el uso humano del agua y la conservación de los ecosistemas.

Las cuencas funcionan como sistemas interconectados: las acciones realizadas en las zonas altas pueden generar impactos significativos aguas abajo. Por ejemplo, la deforestación en cabeceras aumenta la erosión y la sedimentación en los ríos, afectando la calidad del agua y la biodiversidad en las zonas bajas. Por ello, un enfoque integrado y participativo, que incluya a todos los actores involucrados, es clave para una gestión eficaz y sostenible de estos ecosistemas.

Cabeceras de cuencas



¿Cuáles son las cuencas del Laboratorio Natural Andes del Sur?

La delimitación de las cuencas hidrográficas que se presenta a continuación se basa en la clasificación oficial de la Dirección General de Aguas (DGA), institución técnica responsable de la gestión de los recursos hídricos en Chile. Esta clasificación constituye el principal marco de referencia para la planificación y administración del agua en el país.

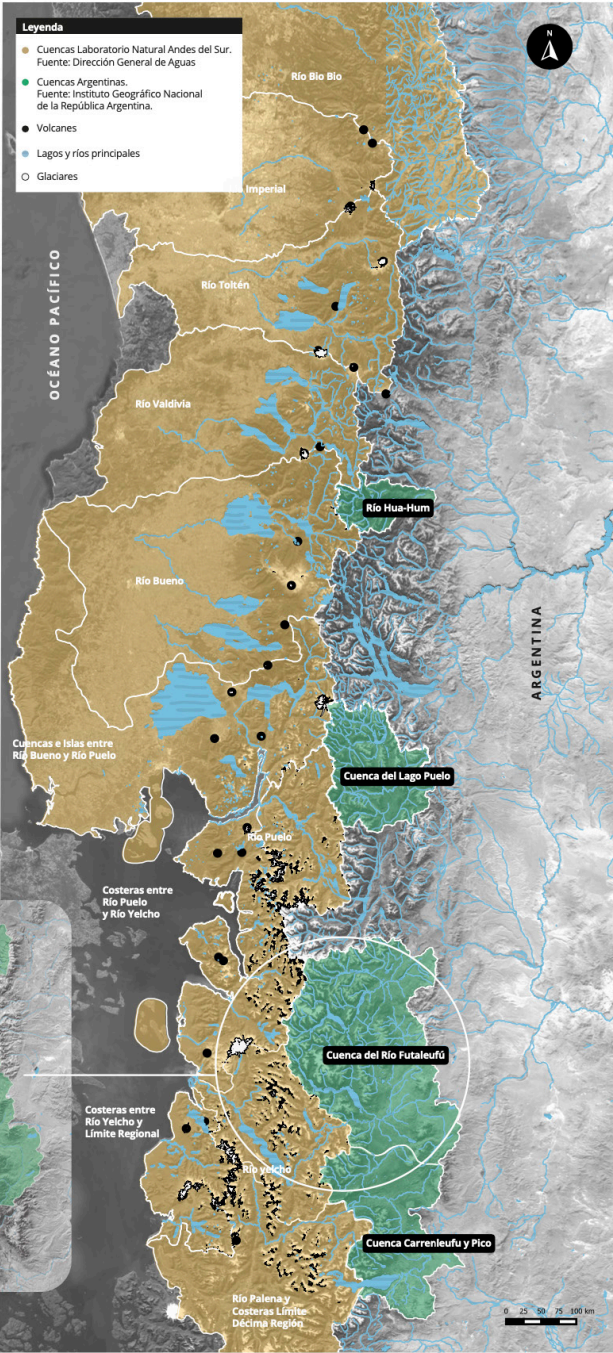
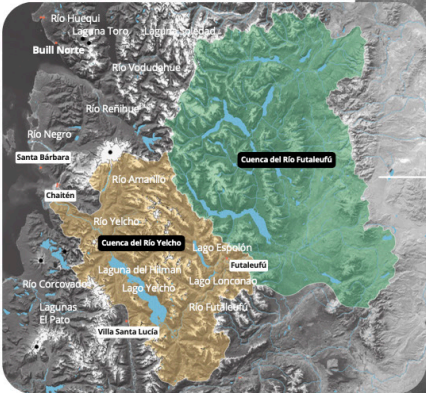
Sin embargo, la investigación científica avanza hacia delimitaciones cada vez más precisas, incorporando nuevas metodologías y tecnologías que capturan con mayor detalle la complejidad del territorio. Estos estudios, actualmente en desarrollo, permitirán refinar la comprensión de la hidrografía de los Andes del sur y aportarán información clave para la misión del Laboratorio Natural.

El territorio del LNADS Chile contiene once cuencas hidrográficas de alta importancia ecológica, económica y cultural, ya que abastecen de agua a la macrozona sur, sustentan actividades agrícolas, ganaderas, industriales y turísticas y albergan ecosistemas como humedales palustres, lagos y zonas costeras. En la cordillera de los Andes de las regiones de La Araucanía y Los Ríos nacen las cuencas de los ríos Biobío, Imperial, Toltén, Valdivia y Bueno. En la Región de Los Lagos se identifican las otras seis cuencas: las cuencas e islas entre los ríos Bueno y Puelo; la cuenca del río Puelo; las cuencas costeras entre los ríos Puelo y Yelcho; la cuenca del río Yelcho; las cuencas costeras entre el río Yelcho y el límite regional; y la cuenca del río Palena junto a las cuencas costeras del límite de la Región de Los Lagos.

La particularidad de estas cuencas es que sus sistemas hídricos completos se encuentran dentro del laboratorio natural. Esta condición convierte al territorio en un área de especial interés para el estudio de la interacción entre ecosistemas de montaña y marinos, tanto desde una perspectiva ecológica como socioeconómica.

Cuencas hidrográficas de los Andes del sur

Fuente: DGA



Gestión de cuencas hidrográficas

La gestión de las cuencas en Chile, se rige por instrumentos como los Planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), a cargo de la DGA; los Planes de Gestión de Cuencas (PGC), coordinados por la Secretaría Técnica conformada por la DGA y el Ministerio del Medio Ambiente; y los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), responsabilidad de los Gobiernos Regionales. Estos instrumentos buscan equilibrar el uso del agua entre los sectores productivos, proteger los ecosistemas acuáticos y garantizar los derechos de las comunidades locales, incluidas las comunidades mapuche. Entre las medidas implementadas se incluyen la definición de caudales ecológicos mínimos, la delimitación de áreas de protección ambiental y los programas de monitoreo de la calidad del agua.

A pesar de estos esfuerzos, las cuencas enfrentan desafíos significativos: contaminación por actividades agrícolas, industriales y urbanas; sobreexplotación del agua; expansión turística no regulada; y los efectos del cambio climático. Para abordar estos problemas, se han puesto en marcha iniciativas como sistemas de tratamiento de aguas residuales, programas de restauración ecológica y de educación ambiental. No obstante, es fundamental fortalecer la participación comunitaria y profundizar las estrategias de conservación para asegurar la sostenibilidad de estos sistemas a largo plazo.

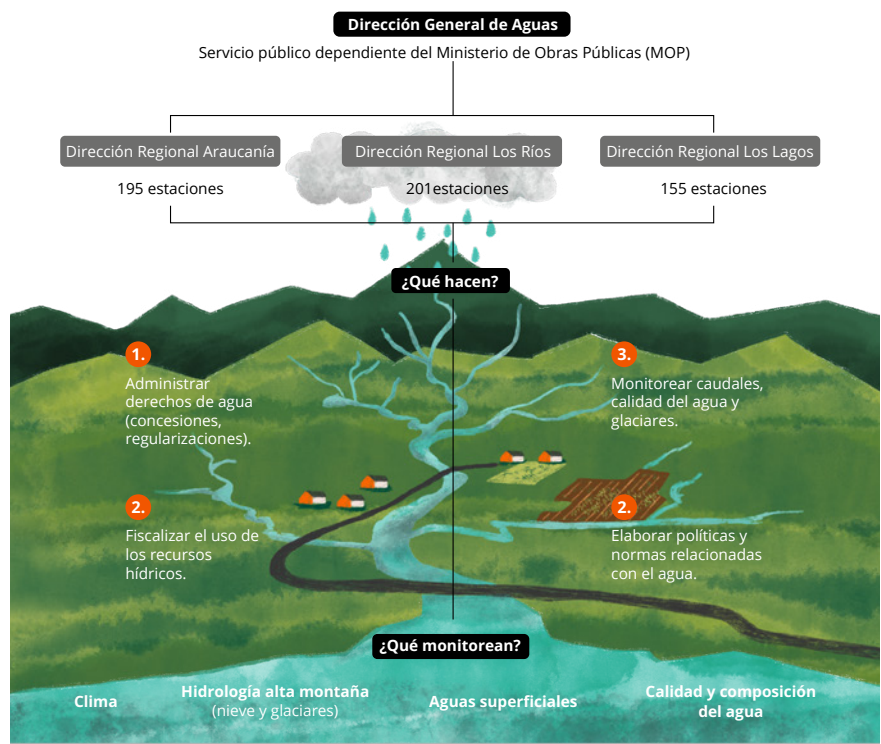
¿Cómo se monitorea el ciclo hidrológico?

La Dirección General de Aguas (DGA) es la institución responsable de monitorear y registrar la información hidrometeorológica en Chile, incluyendo datos de precipitaciones, caudales y niveles de aguas superficiales y subterráneas. Para ello, cuenta con una extensa red de estaciones meteorológicas, hidrológicas y pluviométricas, de las cuales 552 se encuentran ubicadas dentro de las cuencas del Laboratorio Natural Andes del Sur.

Los registros generados por estas estaciones permiten caracterizar las condiciones climáticas y el estado de los sistemas hídricos y glaciares de una región marcada por altas precipitaciones, especialmente durante los meses de invierno. Esta información es fundamental para la gestión del recurso hídrico, la prevención de inundaciones y la planificación de infraestructuras.

En períodos de lluvias intensas, los datos recopilados permiten alertar a las comunidades frente a posibles crecidas de ríos o desbordes. En contextos de sequía, en cambio, contribuyen a evaluar la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola y energético. De este modo, las estaciones pluviométricas y meteorológicas de la DGA no solo proporcionan información clave para comprender el clima local, sino que también constituyen herramientas esenciales para la toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático y gestión hídrica de las cuencas del sur de Chile.

Esquema monitoreo Dirección General de Aguas



Cuencas transfronterizas: el agua que nos une

Chile y Argentina comparten cuatro cuencas hidrográficas que atraviesan la cordillera de los Andes en el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur:

- Cuenca del río Valdivia (Chile), conectada con la cuenca del río Negro (Argentina)
- Cuenca del río Puelo (Chile), vinculada a la cuenca del río Manso (Argentina)
- Cuenca del río Yelcho (Chile), conectada con la cuenca del río Futaleufú (Argentina)
- Cuenca del río Palena (Chile), asociada a la cuenca del río Encuentro (Argentina)

Todas estas cuencas nacen en las alturas andinas, donde el hielo y la lluvia alimentan ríos que cruzan fronteras políticas, pero no naturales. Entre ellas, el sistema Puelo–Manso destaca por su singularidad: un corredor ecológico continuo que conecta el Parque Nacional Lago Puelo, en Argentina, con el fiordo de Reloncaví, en Chile (ver imagen pg. 69).

Este sistema refleja con claridad las tensiones y oportunidades que surgen cuando un mismo río es compartido por dos países. Mientras en el lado chileno el río Puelo ha sido objeto de interés para proyectos hidroeléctricos y turísticos de gran escala, en el lado argentino predomina una vocación conservacionista. Esta dualidad institucional revela una paradoja: un mismo sistema hídrico gestionado bajo visiones distintas, sin un marco binacional que armonice el uso del recurso con su protección ecológica.

A esta falta de coordinación se suma una brecha de información científica, ya que no existe aún un sistema conjunto de monitoreo que permita comprender de manera integral la dinámica hidrológica de la cuenca ni anticipar los efectos del cambio climático sobre su caudal.



Plano del río Puelo
Vidal-Gormaz, 1872



Río Puelo

Fotografía: Andrés Amengual

La importancia de una gobernanza: el caso del río Puelo

El río Puelo simboliza la urgencia de avanzar hacia una gobernanza compartida del agua. Un manejo efectivo de esta cuenca requiere mecanismos de coordinación binacional, comités de cuenca con participación de comunidades locales, científicos y autoridades, y protocolos de alerta temprana frente a eventos extremos o episodios de contaminación.

En Chile, este desafío ha impulsado una de las experiencias más relevantes de articulación territorial de los últimos años. Tras la renuncia de Endesa a sus derechos de agua en 2016, emergió una coalición ciudadana diversa, liderada por la ONG Puelo Patagonia, que junto a organizaciones locales, académicos y actores nacionales promovió la iniciativa Puelo Reserva de Agua. Su objetivo fue declarar la cuenca como reserva bajo el Código de Aguas, priorizando la conservación por sobre el uso extractivo.

Con el apoyo de WWF Chile y decenas de instituciones, el movimiento reunió más de 23 mil firmas y abrió un debate nacional sobre una nueva relación entre la sociedad y el agua. De esta experiencia surgió posteriormente la propuesta Ríos Protegidos, orientada a establecer una legislación nacional para la protección integral y permanente de los ríos de Chile. El caso del Puelo demuestra que la gobernanza del agua puede construirse desde los territorios, articulando saberes locales, ciencia y voluntad política.

Los centinelas de los Andes del sur: la crisis de los glaciares

Desde tiempos geológicos, los glaciares han sido escultores silenciosos del paisaje andino. En sus avances y retrocesos modelaron valles, excavaron lagos y dieron forma a la red hídrica que sostiene la vida en el sur de Chile y Argentina. Hoy, esos mismos centinelas del clima retroceden a una velocidad inédita, revelando la fragilidad del equilibrio que mantienen.



Glaciar El Amarillo

Fotografía: Carmen Mariqueo

En la cordillera de los Andes, los glaciares constituyen las principales reservas de agua dulce del país y cumplen un rol esencial en la regulación del ciclo hidrológico. Según la Dirección General de Aguas (DGA), en los Andes del sur de Chile existen 2392 glaciares, que cubren una superficie de 693,5 km², de los cuales solo 21 están oficialmente nombrados, abarcando 199,3 km².

Entre ellos, el glaciar del volcán Michimahuida destaca como el más extenso del territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur, con una superficie aproximada de 73,3 km². Por su parte, el glaciar del volcán Sollipulli constituye el glaciar más grande de Sudamérica ubicado dentro de un cráter volcánico, con un diámetro cercano a los 4 km.

Sin embargo, el aumento sostenido de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones sólidas y la actividad volcánica han acelerado su derretimiento. En las últimas cuatro décadas, el glaciar del volcán Villarrica ha perdido más del 50 % de su masa, debido tanto al aumento de temperaturas como a la actividad volcánica. De manera similar, el glaciar del volcán Michimahuida ha experimentado un retroceso cercano al 30 % desde la década de 1980, proceso intensificado tras la erupción del volcán Chaitén en 2008.

Estos cambios no solo afectan la disponibilidad hídrica, sino que también alteran los ecosistemas de montaña, incrementan la erosión, modifican la calidad del agua y aumentan la frecuencia de fenómenos extremos como aluviones y lahares. Cada glaciar que se retrae es un indicador visible del cambio climático y de la presión humana sobre las altas cordilleras.



Glaciar del flanco occidental del volcán Michimahuida

Fotografía: Alejandra González

Glaciares y volcanes: la relación entre el hielo y el fuego en los Andes del sur

En los Andes del sur, la frontera entre el hielo y el fuego nunca ha sido estática. Glaciares y volcanes conviven en un equilibrio dinámico, donde el calor del magma moldea lentamente los cuerpos de hielo que cubren las cumbres.



Formación de un lahar producto del derretimiento de un glaciar durante la erupción del volcán Llaima, 2009.

Fotografía: Daniel Basualto

Erupciones como las del Chaitén en 2008 y del Calbuco en 2015 demostraron que un solo pulso volcánico puede acelerar décadas de derretimiento glaciar, alterar los caudales fluviales y transformar profundamente la geografía de una cuenca.

Investigaciones recientes en volcanes como el Mocho-Choshuenco y Villarrica han permitido avanzar en la comprensión de esta relación íntima entre energía y agua. Estos estudios revelan cómo los flujos térmicos subterráneos, la deposición de ceniza y la dinámica sísmica influyen directamente en la estabilidad de los glaciares.

Mientras en el Mocho-Choshuenco se ha documentado un retroceso principalmente asociado al cambio climático, en el Villarrica se observa que la actividad magmática y la presión interna del volcán modifican el derretimiento del hielo e, incluso, su estructura interna. Estos hallazgos son clave para anticipar la respuesta de los glaciares frente a futuras erupciones y para comprender los mecanismos que controlan la recarga hídrica de las cuencas.

Actualmente, menos del 10 % de los glaciares andinos cuenta con monitoreo continuo, lo que limita la capacidad de prever la magnitud de estos procesos y los riesgos asociados, como lahares o inundaciones súbitas. En este contexto, cada glaciar emplazado en una zona volcánica actúa como un verdadero termómetro geológico, registrando tanto el pulso del clima como la dinámica profunda de la Tierra.

Referencias:

- Scheiter, M., Schaefer, M., Flández, E., Bozkurt, D., & Greve, R. (2021). The 21st-century fate of the Mocho-Choshuenco ice cap in southern Chile. *The Cryosphere*, 15(8), 3637-3654.
- Pavez, M., Brasse, H., Kapinos, G., Diaz, D., Lara, L. E., & Schill, E. (2023). Magma storage and transfer in the Villarrica volcanic chain, South Chile: MT insights into volcano-tectonic interactions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 439, 107832.
- González-Vidal, D., Sens-Schönfelder, C., Palma, J. L., Quiero, F., Franco, L., Miller, M., Lange, D., Sielfeld, G., & Cembrano, J. (2022). The Hiccup of Villarrica volcano (Chile) during the 2015 eruption and its expression in LP activity and VLP ground motion. *Geophysical Journal International*, 231(2), 1309-1323.

Sistemas hídricos superficiales: lagos nor-patagónicos y ríos

Los lagos nor-patagónicos, formados principalmente por procesos tectónicos y glaciares, constituyen un componente central del paisaje del sur de Chile. Destacan tanto por su belleza escénica como por su relevancia ecológica, hidrológica y cultural. Estos sistemas lacustres presentan un marcado gradiente trófico, que varía desde condiciones ultraoligotróficas en lagos de alta montaña hasta estados eutróficos en aquellos cercanos a zonas urbanas y agrícolas.



Lago Negro, Parque Nacional Pumalín

Fotografía: Alejandra González

¿A qué nos referimos con gradiente trófico? Este concepto describe el aumento progresivo de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, en los cuerpos de agua. Dicho proceso suele estar asociado a actividades humanas como la expansión urbana, la agricultura intensiva, la actividad forestal y la acuicultura, las cuales modifican la calidad del agua y alteran los ecosistemas asociados.

Gradiente trófico de lagos y ríos



Entre los principales lagos del territorio se encuentran los lagos Caburgua, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco, Maihue, Llanquihue, Todos los Santos y Chapo. Si bien cada uno presenta características físicas y ecológicas particulares, todos comparten una creciente presión antropogénica que amenaza su equilibrio ecológico.

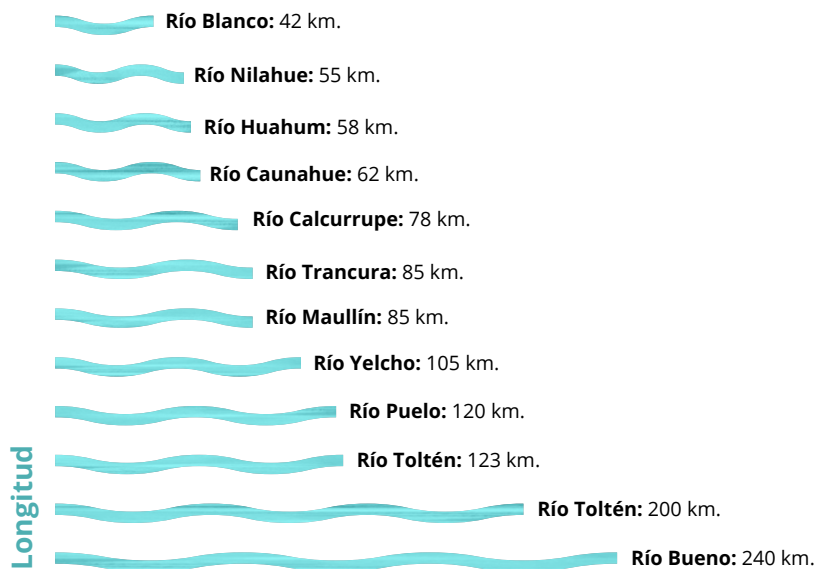
Características de los principales lagos de los Andes del sur de Chile

● Ultra oligotrófico	● Oligotrófico	● Mesotrófico	● Eutrófico	
Superficie 12 km ²	Superficie 50 km ²	Superficie 53 km ²	Superficie 77 km ²	Superficie 116 km ²
Lago Maihue	Lago Chapo	Lago Caburgua	Lago Riñihue	Lago Panguipulli
Superficie 120 km ²	Superficie 176 km ²	Superficie 178 km ²	Superficie 442 km ²	Superficie 870 km ²
Lago Calafquén	Lago Villarrica	Lago Todos Los Santos	Lago Ranco	Lago Llanquihue

Los ríos del sur de Chile constituyen verdaderos ejes vitales del Laboratorio Natural Andes del Sur. Alimentados por glaciares, precipitaciones y sistemas lacustres, estos cursos de agua sostienen ecosistemas de alto valor ecológico y cumplen un rol clave para actividades humanas como la agricultura, el turismo y la generación energética. Algunos de ellos, como el Puelo y el Palena, son sistemas binacionales que atraviesan la cordillera para abastecer tanto a Chile como a Argentina. Otros, como el Toltén o el Bueno, drenan lagos emblemáticos —Villarrica y Ranco, respectivamente— y transportan nutrientes esenciales hacia el océano Pacífico.

Estos ríos nacen en las entrañas de la cordillera, donde el deshielo glaciar, las lluvias torrenciales y las filtraciones desde lagos altiplánicos convergen para darles origen. El río Blanco, por ejemplo, desciende desde las laderas del volcán Osorno, arrastrando cenizas y sedimentos volcánicos que otorgan a sus aguas un característico color gris lechoso. Más al sur, los ríos Yelcho y Palena atraviesan profundos valles modelados por antiguos glaciares, alimentados por una compleja red de afluentes que drenan los bosques siempreverdes.

Principales ríos de los Andes del sur de Chile y su extensión





Laguna Verde, Parque Nacional Conguillio

Fotografía: Carmen Mariqueo

Refugios de vida silvestre: biodiversidad en las aguas del sur

Los lagos y ríos del sur de Chile albergan ecosistemas de extraordinaria riqueza biológica y singularidad evolutiva. En los ríos Bueno y San Pedro, por ejemplo, las aguas frías y de corriente rápida constituyen el hábitat crítico del puye, un pez de alto valor ecológico por su condición de especie microendémica y su elevada vulnerabilidad. Este pertenece a una de las familias de peces más antiguas del mundo, representada por especies como *Diplomystes habitae*, que ha persistido en estos sistemas fluviales desde la última glaciación.

Por su parte, el río Nilahue, caracterizado por la presencia de pozones termales naturales, sustenta comunidades únicas de algas y microorganismos adaptados a temperaturas extremas. La presencia de macroinvertebrados como camarones del género *Hyalella* e insectos acuáticos como *Meridialaris* en sistemas prístinos —entre ellos los ríos Puelo y Blanco— actúa como un bioindicador de excelente calidad del agua, reflejando la alta integridad ecológica de estos ambientes.

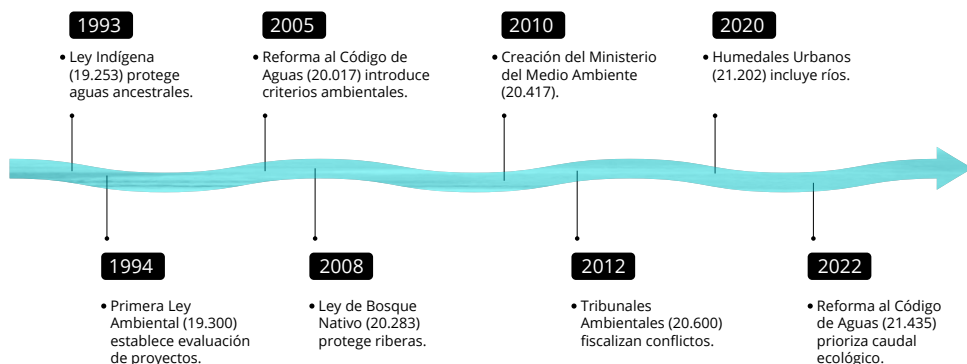
Especies endémicas como el camarón de río (*Samastacus spinifrons*) en las cuencas del Toltén y del Bueno, o el amenazado tollo de agua dulce (*Diplomystes camposensis*) en las cuencas de Valdivia y Toltén, subrayan la relevancia evolutiva y ecológica de estos sistemas. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan amenazas crecientes, como la invasión del alga *Didymosphenia geminata* —detectada en los ríos Maullín y Yelcho—, la contaminación por nutrientes de origen agrícola en ríos como el Caunahue y el Nilahue, y la fragmentación fluvial asociada a represas en ríos como el Yelcho y el Bueno.

Estos impactos comprometen la supervivencia de especies emblemáticas como el huillín (*Lontra provocax*), una nutria nativa altamente dependiente de la salud de los ríos andinos, y afectan también a peces nativos como la perca (*Percichthys trucha*), cuyas poblaciones han disminuido debido a la competencia con salmónidos exóticos introducidos.

Amenazas y conservación

A pesar de su aparente abundancia, las cuencas del sur de Chile enfrentan presiones crecientes. La construcción de centrales hidroeléctricas amenaza con fragmentar el curso libre de ríos como el Yelcho y el Palena, mientras que la expansión de la salmonicultura en los fiordos de desembocadura contamina las aguas en sistemas como el Maullín y el Huahum.

Línea de tiempo: Cronología de protección legal



Si bien se han registrado avances relevantes en materia de conservación y protección legal, persisten desafíos críticos. Actualmente, se estima que el 64 % de los ríos chilenos enfrenta algún grado de estrés hídrico, y especies como el tollo de agua dulce (*Diplomystes*) han desaparecido de cuencas alteradas. La tensión entre el derecho humano al agua, la propiedad privada de los derechos de aprovechamiento y la necesidad de conservar los ecosistemas acuáticos continúa sin resolverse plenamente, dejando en incertidumbre el futuro de estos torrentes andinos.



CAPÍTULO 6

VIDA Y FUNCIÓN DE LOS SUELOS ANDINOS

La herencia fértil del suelo volcánico

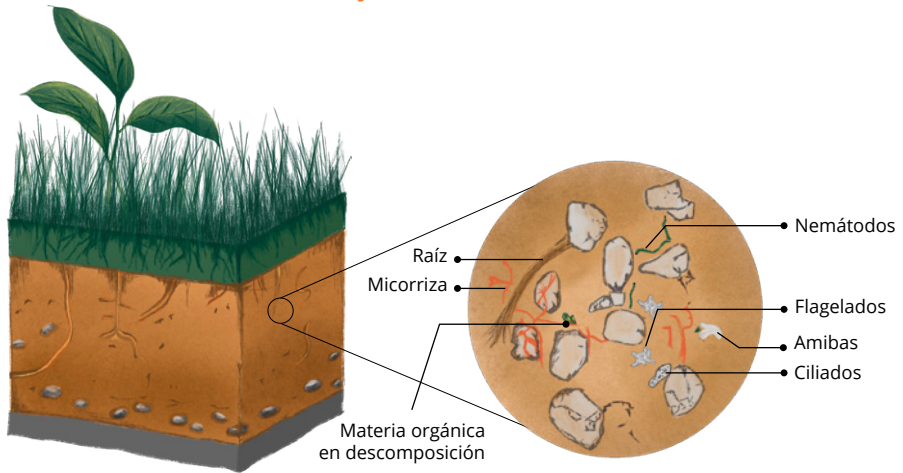
El fuego de los volcanes no solo destruye: también crea. Cada erupción deposita cenizas y minerales que, con el tiempo, se transforman en suelos fértiles capaces de sostener una vida exuberante. Estos suelos volcánicos son el testimonio vivo de la **capacidad regenerativa de la Tierra**, donde la energía magmática se convierte en alimento para los bosques, los cultivos y las comunidades que habitan sus laderas.

¿Qué es el suelo?

El suelo es la capa superficial de la Tierra: un sistema natural finito y no renovable donde coexisten componentes vivos y no vivos. Se encuentra en constante transformación física, química y biológica y, cuando se exceden sus límites de resiliencia, puede experimentar alteraciones multisistémicas. Además, constituye el soporte fundamental para la producción de alimentos y materias primas de las que depende la humanidad.

Al observar el suelo en una sección vertical, se distinguen distintas capas paralelas a la superficie, denominadas “horizontes”. Estas son el resultado de procesos de formación y evolución que ocurren a lo largo del tiempo y presentan características físicas, químicas y biológicas diferenciadas. El estudio de estos horizontes es clave para comprender la fertilidad, estructura y capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y animal, ya que cada uno cumple un rol específico dentro de la ecología del suelo.

Estructura y biodiversidad del suelo



La estructura del suelo no es compacta ni homogénea. Presenta poros y grietas generados por procesos de meteorización que permiten el ingreso de materiales finos, gases como el CO_2 y diferentes cantidades de agua, compuestos orgánicos y minerales, además de albergar una gran diversidad de organismos vivos.

En los últimos años, la cuantificación de esta biodiversidad ha adquirido gran relevancia, ya que la enorme variedad de organismos del suelo forma parte de un sistema altamente interconectado, en el que cada especie cumple funciones esenciales para mantener la estructura y funcionalidad de los ecosistemas.

El suelo es, por tanto, uno de los componentes más complejos de los ecosistemas, debido a la heterogeneidad de su estructura física y química y a la diversidad de compuestos orgánicos que generan hábitats altamente variables. En él interactúan flora, fauna y funga en un entramado dinámico que se conecta con el resto de los sistemas de la biósfera.

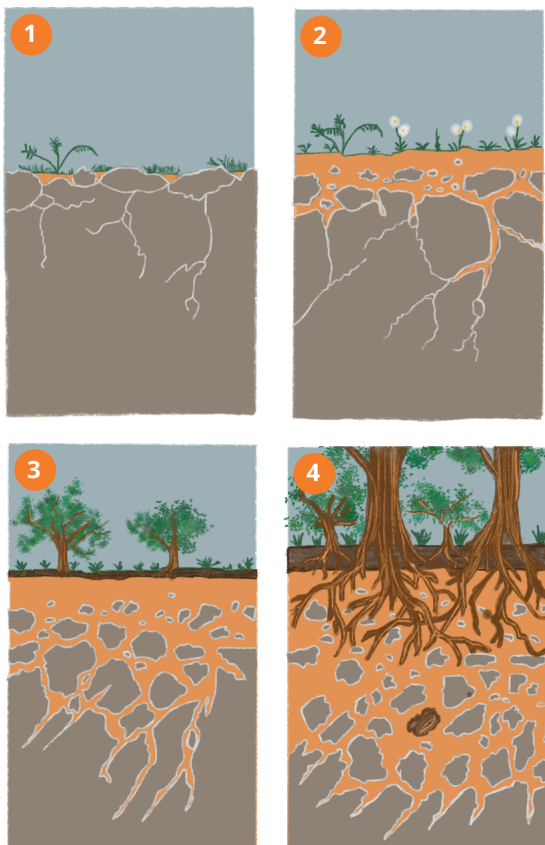
Nota: Una de las principales funciones ecosistémicas del suelo es servir de hábitat para innumerables organismos. Se estima que en un solo gramo de suelo pueden existir más de mil millones de bacterias y cientos de especies distintas.

¿El suelo “nace” o “se hace”? Un proceso milenario

La formación del suelo es un proceso continuo, complejo y extremadamente lento. En términos generales, se estima que pueden transcurrir entre 100 y 1000 años para formar apenas un centímetro de suelo.

Este proceso puede originarse principalmente por dos vías: la meteorización de la roca madre (litogénesis) o la acumulación de materiales volcánicos recientes, como cenizas, lavas y piroclastos. En ambos casos, la génesis del suelo está controlada por factores externos e internos.

Proceso de formación de un suelo





Desarrollo de suelo en corte de camino ruta 7 El Amarillo-Puerto Cárdenas

Fotografía: Alejandra González

Por otro lado, los factores internos incluyen la composición mineralógica de la roca madre o del material volcánico, la cual determina su resistencia a la meteorización; la actividad de raíces y microorganismos, que promueve la alteración biológica y la formación de humus; y, en el caso de suelos volcánicos, la dinámica eruptiva, que aporta materiales frescos y ricos en nutrientes, como los andisoles. Así, mientras los suelos derivados de roca madre evolucionan lentamente por procesos de meteorización, los de origen volcánico suelen ser más jóvenes y presentar propiedades únicas, como una alta porosidad y una elevada fertilidad.

Debido a la interacción de múltiples variables, existen diversos tipos de suelo en el mundo, clasificados según su textura, contenido de limo, arcilla y arena, materia orgánica, pH y otras propiedades. La taxonomía de suelos del USDA (Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos) reconoce 12 grandes grupos.

Chile alberga 10 de estos 12 tipos, gracias a su notable diversidad geomorfológica, climática y geológica. En particular, como se abordó en el capítulo 2 (Arco volcánico activo), millones de años de actividad volcánica han dado origen a los suelos predominantes del Laboratorio Natural Andes del Sur: los andisoles, conocidos en Chile como suelos **ñadis** y **trumaos**. Estos suelos, caracterizados por su color oscuro y por encontrarse en zonas montañosas, representan cerca del 1% de los suelos libres de hielo a nivel mundial y se concentran principalmente en el Cinturón de Fuego del Pacífico.

¿Por qué son importantes los andisoles?

El suelo cumple funciones esenciales para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Más que un simple sustrato para las plantas, actúa como regulador de procesos biogeoquímicos y soporte vital para múltiples formas de vida. En el caso de los andisoles, su origen volcánico les confiere propiedades únicas y una alta fertilidad.

Los **ñadis**, presentes principalmente en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, se caracterizan por su drenaje imperfecto y alto contenido de materia orgánica. Estas condiciones los convierten en importantes reservorios de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Su estructura porosa regula el ciclo hídrico, disminuye el riesgo de inundaciones y favorece la recarga de acuíferos, además de sustentar bosques templados lluviosos con alto endemismo.

Los **trumaos**, típicos de La Araucanía, destacan por su elevada fertilidad y capacidad de retención de nutrientes, especialmente fósforo, lo que los hace fundamentales para la producción agrícola. Su porosidad les permite almacenar agua, otorgándoles resiliencia frente a sequías, y su composición mineral contribuye a la retención de contaminantes, como metales pesados, protegiendo los ecosistemas circundantes. En síntesis, estos suelos no solo sostienen la biodiversidad y la agricultura, sino que también proveen servicios ecosistémicos críticos, como la regulación climática e hídrica.

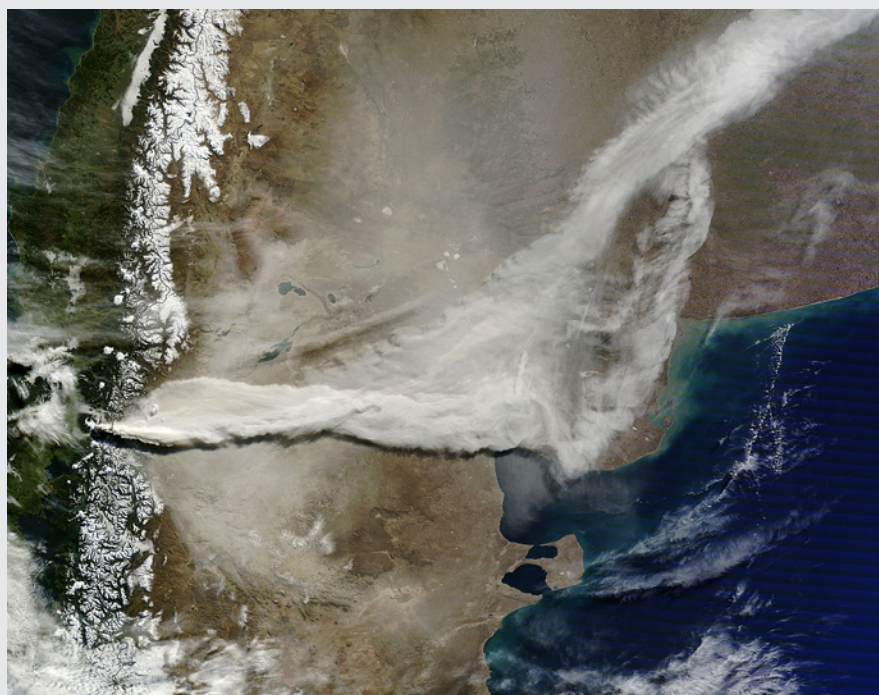


Intercalación de depósitos piroclásticos y desarrollo de suelo
a orillas del río Turbio-Chico, Chaitén

Fotografía: Alejandra González

Impacto de las cenizas volcánicas: dispersión, composición y efectos

Más del 60 % de la producción agrícola de Chile y una parte significativa de los ecosistemas de bosques nativos se desarrollan sobre suelos de origen volcánico. En los Andes del sur se localizan al menos cinco volcanes que han presentado erupciones relevantes en los últimos 20 años, con impactos directos sobre la población y las actividades productivas que dependen de estos suelos. Estos son los volcanes Villarrica, Puyehue–Cordón Caulle, Llaima, Calbuco y Chaitén.



Pluma de la erupción del complejo volcánico Puyehue–Cordón Caulle, 2011

Fuente: NASA, imágenes MODIS

¿Hacia dónde viajan las cenizas?

La dispersión de las cenizas volcánicas depende principalmente de la dirección y velocidad del viento dominante, la altura alcanzada por la columna eruptiva y los regímenes de precipitación. La erupción del volcán Calbuco en 2015 evidenció cómo las cenizas pueden atravesar la cordillera de los Andes y depositarse en las provincias argentinas de Río Negro y Neuquén. De manera aún más extraordinaria, el evento del complejo Puyehue–Cordón Caulle en 2011 transportó material particulado hasta Buenos Aires e incluso Uruguay.

Las precipitaciones posteriores a una erupción pueden agravar los impactos, al movilizar las cenizas hacia sistemas hídricos. Un caso emblemático fue Chaitén en 2008, donde la saturación de la cuenca obligó al reasentamiento y a la reconstrucción total de la ciudad.

¿Qué contienen y cómo afectan las cenizas?

Las cenizas volcánicas contienen flúor, azufre, metales pesados y partículas finas que afectan la ganadería, la agricultura, las fuentes hídricas y la salud pública, especialmente por la contaminación del aire. En regiones como la Patagonia argentina, estos impactos han sido ampliamente documentados en sistemas productivos y poblaciones humanas.

Este escenario pone de manifiesto la necesidad de fortalecer el monitoreo binacional entre Chile y Argentina, desarrollar protocolos conjuntos y promover la investigación aplicada que permita mitigar los efectos de futuras erupciones. Las crisis volcánicas son recurrentes y requieren estrategias de adaptación basadas en cooperación internacional y conocimiento científico.

Referencias:

- Mandujano, F., Rodríguez, J. C., Reyes, S. E., & Medina, P. (2015). La erupción del volcán Chaitén: voyerismo, desconfianza, academia y Estado. Repercusiones urbanas y sociales en la comunidad. *Universum* (Talca), 30(2), 153–177.
- Romero, J. E., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M., & Perugini, D. (2016). Eruption dynamics of the 22–23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 317, 15–29.
- Zabert, I., Benítez, S., & Zabert, G. E. (2019). Impacto respiratorio de la exposición aguda a las cenizas volcánicas en la Patagonia Argentina: un estudio transversal. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 19(2), 112–118.

¿Qué ocurre en los suelos de los Andes del sur después de una erupción?

El arco volcánico activo y la emisión recurrente de cenizas constituyen un fenómeno de alto impacto, no solo como un acto de la naturaleza violento, sino también como el punto de partida de un proceso de renovación ecológica.

Tras una erupción, el paisaje queda cubierto por un manto negro de ceniza y rocas volcánicas. Este terreno, que a primera vista parece estéril, representa el inicio de la formación de un nuevo suelo. Las cenizas, ricas en minerales como fósforo, potasio y magnesio, proporcionan la materia prima necesaria para el desarrollo de suelos fértiles.

1. Etapa inicial: colonización

Las primeras formas de vida que colonizan estas superficies son líquenes y algas, organismos resistentes capaces de sobrevivir en condiciones extremas. Estos pioneros comienzan a descomponer la roca volcánica y contribuyen a la formación de una delgada capa de suelo orgánico. Posteriormente, musgos y helechos se establecen, ayudando a retener humedad y a profundizar la alteración del sustrato.

2. Etapa intermedia: desarrollo

Con el tiempo, el suelo adquiere el espesor y la fertilidad suficientes para sustentar plantas herbáceas de mayor tamaño. Gramíneas, hierbas y flores comienzan a crecer, atrayendo insectos y pequeños animales. A medida que las plantas herbáceas mueren y se descomponen, enriquecen aún más el suelo. Más adelante, pequeños árboles y arbustos, como el chilco (*Fuchsia magellanica*) y la quila (*Chusquea culeou*), comienzan a estructurar un hábitat más complejo.

3. Etapa clímax: ¿bosque maduro o sistema dinámico?

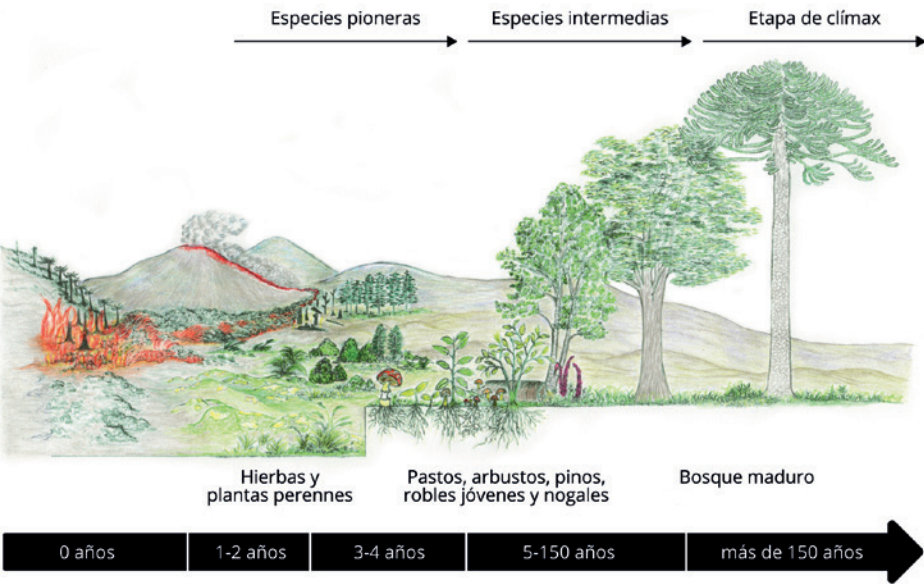
Tradicionalmente, la sucesión ecológica culmina en un estado de clímax dominado por árboles longevos, como el alerce o la araucaria. Sin embargo, investigaciones recientes indican que en regiones volcánicas activas este equilibrio rara vez es estático. En lugar de un “bosque maduro lineal”, se observa dinamismo por perturbaciones recurrentes.

En los Andes del sur, las erupciones frecuentes reinician parcialmente la sucesión, generando un mosaico de parches en distintas etapas de desarrollo. Estudios en bosques de araucaria muestran que incendios y caídas de árboles viejos mantienen la diversidad del ecosistema.

La resiliencia de estos bosques es no lineal: mientras el dosel de alerces puede persistir durante siglos, bajo él ocurren micro-sucesiones constantes, en las que árboles jóvenes compiten por la luz, hongos descomponen troncos caídos y bancos de semillas germinan tras disturbios. Investigaciones en la Reserva de la Biósfera de los Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes indican que cerca del 40 % de estos bosques presenta regeneración asincrónica asociada a erupciones pasadas.

Desde esta perspectiva, el clímax se entiende más como un proceso que como un estado final. En Chaitén, por ejemplo, tras la erupción de 2008 el bosque no recuperó exactamente su composición original, sino que emergieron nuevas asociaciones de especies. Esta dinámica convierte a los Andes del sur en un laboratorio natural excepcional para estudiar ciclos de regeneración ecológica ligados a la actividad volcánica.

Sucesión ecológica secundaria



Hongos de montaña y micorrizas: aliados invisibles de la regeneración volcánica

Tras una erupción volcánica, mientras las plantas pioneras colonizan la superficie cubierta de cenizas, bajo el suelo actúa una red invisible de hongos micorrícicos, fundamentales para la recuperación de los suelos andinos. Las micorrizas corresponden a asociaciones simbióticas entre hongos y raíces de plantas, presentes desde hace más de 400 millones de años y esenciales para la evolución de los ecosistemas terrestres.

En las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, especies como *Cortinarius magellanicus* y *Descolea antarctica* forman micorrizas con árboles nativos como coigües y araucarias y arbustos como la chaura, acelerando la formación de suelos fértiles. Sus hifas —estructuras fúngicas que se conectan a las raíces de las plantas— se extienden decenas de metros, permitiendo la absorción de fósforo y nitrógeno desde las cenizas volcánicas, nutrientes que de otro modo serían inaccesibles. Estos son intercambiados por carbohidratos de las plantas en una relación simbiótica vital que explica la notable capacidad de árboles como el coigüe (*Nothofagus dombeyi*) para colonizar suelos jóvenes.

Las hifas también actúan como ingenieras del suelo, aglutinando partículas minerales y creando capas estables que mejoran la porosidad y retención de agua en los trumaos. Además, los hongos cumplen un rol protector de las plantas al detoxificar metales pesados, como el azufre, liberados durante las erupciones. Estudios en la Reserva Nacional Futaleufú demostraron que el 80% de las plantas pioneras estaban micorrizadas, lo que aceleraba en un 40% la acumulación de materia orgánica respecto de zonas sin hongos. Hongos como el changle (*Ramaria patagónica*) desarrollaron estrategias eficaces, formando "corredores micorrícicos" que conectaban parches de vegetación aislados y facilitaban la distribución de nutrientes a través del paisaje devastado.

Estos valiosos organismos enfrentan importantes desafíos, siendo el más crítico el cambio climático, que está provocando una reducción de la diversidad de hongos en las altitudes medias, entre los 500 y 1000 msnm, donde el aumento de las temperaturas favorece la desecación de los suelos.

Ahora bien, ¿todos los hongos cumplen funciones micorrícicas? No necesariamente; sin embargo, todos desempeñan un rol relevante en los ecosistemas y también para el ser humano, ya sea por sus aportes ecológicos o por su valor alimentario, como ocurre con especies comestibles tales como el llao o pan del indio (*Cyttaria hariatii*); el digüeñe (*Cyttaria espinosae*); el changle (*Ramaria flava*); y gargal (*Ganoderma australe*).



Digüeñes

Fotografía: Paula Torrent

Plantas pioneras en suelos volcánicos: resiliencia y adaptación

Los suelos recién formados a partir de cenizas volcánicas presentan condiciones extremas: alta acidez, baja disponibilidad de nutrientes y escasa retención hídrica. Aun así, diversas plantas pioneras han desarrollado adaptaciones específicas para colonizarlos. Entre las más notables se encuentra la chaura (*Gaultheria mucronata*), un arbusto endémico de los Andes del sur que posee raíces superficiales con micorrizas que captan nutrientes en suelos inmaduros, hojas coriáceas que reducen la pérdida de agua en ambientes expuestos y frutos que facilitan la dispersión de semillas por aves.

Otras plantas pioneras son:

- **Murta o murtillo** (*Ugni molinae*, sin. *Myrteola nummularia*): Habita en bordes de bosques y claros de zonas montañosas. Presenta adaptaciones clave a ambientes volcánicos, como una rápida repoblación gracias a la dispersión de sus frutos por aves. Además, sus semillas pueden persistir en capas de ceniza y tolerar suelos ácidos, comunes en escenarios post-erupción.
- **Radal** (*Lomatia dentata*): Especie característica de bosques abiertos. Sus adaptaciones incluyen hojas con una estructura resistente a los gases liberados durante las erupciones volcánicas, una madera capaz de soportar fracturas provocadas por el peso de la ceniza y un vigoroso rebrote desde la cepa tras incendios.
- **Avellano** (*Gevuina avellana*): Propio de bosques húmedos, cuyo mecanismo de supervivencia se basa en su tolerancia a condiciones de sombra durante etapas avanzadas de la sucesión ecológica. Sus hojas reducen la acumulación de ceniza y sus frutos resultan atractivos para la fauna dispersora, lo que favorece la polinización y regeneración del ecosistema.
- **Fuinque** (*Lomatia ferruginea*): Habita en zonas altitudinales, presenta un follaje denso que protege el suelo de la erosión. Sus flores anaranjadas están adaptadas a la polinización y su corteza alberga microorganismos fijadores de nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento vegetal en contextos posteriores a una erupción volcánica.

Estas plantas actúan como verdaderas ingenieras ecosistémicas, ya que sus raíces rompen la compactación de la ceniza, su materia orgánica muerta inicia la formación de humus y su presencia atrae polinizadores y dispersores, sentando las bases para las etapas sucesivas de la sucesión ecológica.

¿Cuáles son las principales amenazas de estos suelos?

Los suelos volcánicos del sur de Chile enfrentan presiones acumulativas derivadas del cambio climático, los incendios forestales y prácticas agrícolas insostenibles. Las olas de calor y las sequías prolongadas afectan especialmente a los ñadis, que dependen de condiciones estables de saturación hídrica, mientras que en los trumaos se intensifica la erosión eólica producto de la falta de precipitaciones, con pérdidas de hasta 5 toneladas por hectárea al año de suelo fértil.

Los incendios forestales, por su parte, no solo destruyen la capa orgánica superficial —esencial para la fertilidad—, sino que dejan tras de sí cenizas que sellan el suelo, impidiendo la infiltración del agua y aumentando la escorrentía superficial. Paralelamente, las prácticas agrícolas agravan el problema: los monocultivos en trumaos agotan rápidamente los nutrientes, mientras que el uso de maquinaria pesada en ñadis reduce su porosidad natural de un 60% a apenas un 35% en zonas cultivadas.

Esta degradación se ve exacerbada por la desaparición de plantas nodrizas como el maqui (*Aristotelia chilensis*) y el notro (*Embothrium coccineum*), especies clave que protegen el suelo de la erosión, fijan nitrógeno mediante simbiosis con hongos y atraen fauna dispersora de semillas.

Estos procesos tienen antecedentes históricos claros. Entre fines del siglo XIX y mediados del XX, la colonización euro-chilena impulsó una intensa deforestación que degradó extensas áreas del sur del país. Ya en la década de 1930 surgieron alertas científicas sobre la necesidad de un manejo sostenible, lo que condujo en 1947 a la elaboración del primer mapa de suelos de Chile en la zona del lago Llanquihue-Osorno.

La protección y gestión sostenible de los suelos volcánicos resulta, por tanto, fundamental para asegurar la continuidad de sus funciones ecosistémicas. Su degradación compromete no solo la biodiversidad y la producción agrícola, sino también la resiliencia de los territorios frente a los desafíos ambientales del presente y del futuro.



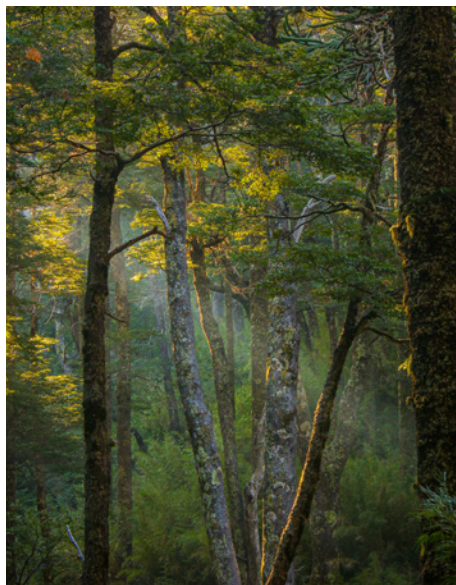
CAPÍTULO 7 BOSQUES TEMPLADOS ANDINOS DE LATITUDES MEDIAS

Los gigantes verdes del sur

En las laderas húmedas de los Andes del sur, los bosques se alzan como una **red de vida que conecta la atmósfera con la tierra**. Son refugio de biodiversidad, reguladores del agua y del carbono, y guardianes de una memoria ecológica que se remonta al antiguo continente de Gondwana.

La arquitectura de los bosques andinos

Los bosques templados lluviosos de latitudes medias constituyen uno de los ecosistemas más ricos y diversos del planeta. Se distribuyen principalmente en regiones costeras de América del Norte, Europa y Asia, así como en el cono sur de Sudamérica, especialmente en Argentina y Chile. Su clima templado, junto con precipitaciones abundantes y regulares, crea condiciones favorables para una gran diversidad de flora y fauna.



Bosque templado, sendero Las Araucarias
del Parque Nacional Conguillío

Fotografía: Carmen Mariqueo

El territorio de los Andes del sur destaca por albergar una extensa superficie de bosque nativo (templado lluvioso), que alcanza aproximadamente el 59% de su cobertura. Estos bosques presentan una estructura compleja, organizada en múltiples estratos de vegetación que van desde musgos y helechos en el sotobosque hasta árboles que superan los 50 metros de altura, portadores de una larga historia evolutiva.

Entre los 36° y 45° de latitud sur se encuentran especies únicas y de gran antigüedad, cuyo origen antecede al levantamiento de la cordillera de los Andes. Coigües, alerces y araucarias dominaron estos paisajes durante millones de años, configurando comunidades forestales de notable continuidad temporal.

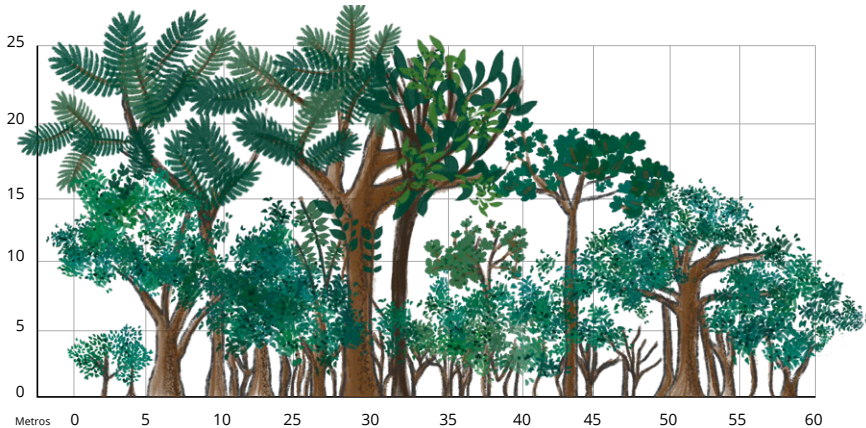
Hace aproximadamente 10.000 años, durante la última era glacial, cerca de dos tercios de la actual superficie de los bosques andinos fue cubierta por el avance de los hielos. A pesar de esta profunda transformación, estos bosques persistieron y concentran hoy los niveles más altos de riqueza de especies en Chile. En ellos se conserva el registro vivo de una historia marcada por episodios de frío extremo, sequías e incendios.

¿Cómo describir el bosque de montaña? Desde el musgo hasta los gigantes

Los bosques templados presentan atributos que permiten comprender su organización y funcionamiento. Uno de ellos es su estructura, entendida como su organización espacial y temporal en diferentes estratos. Podemos reconocer el dosel superior, formado por las copas de los árboles más altos, que crean un techo vegetal capaz de filtrar la radiación solar. Bajo él se desarrolla el sotobosque, generalmente denso, compuesto por arbustos, pequeños árboles, trepadoras y abundante material leñoso en descomposición. Finalmente, el suelo del bosque constituye un sistema propio, íntimamente conectado con los demás estratos. En este ambiente fértil, líquenes y hongos micorrícicos establecen relaciones simbióticas con las raíces de los árboles, facilitando la absorción de agua y minerales.

Perfil de vegetación

¿Cómo describir el bosque de montaña? Desde el musgo hasta los gigantes.



Un segundo atributo corresponde a la composición del bosque, asociada a la diversidad de especies presentes en los distintos estratos. En el dosel se reconocen árboles de gran altura como la araucaria (*Araucaria araucana*), el alerce (*Fitzroya cupressoides*) y el coigüe (*Nothofagus dombeii*). En niveles intermedios se desarrollan especies arbustivas y herbáceas, como el chilco (*Fuchsia magellanica*) y la quila (*Chusquea quila*), mientras que en el estrato inferior predominan helechos, musgos, líquenes y hongos. En estos ambientes coexisten numerosas especies animales, articulando los reinos de la flora, la fauna y la funga.

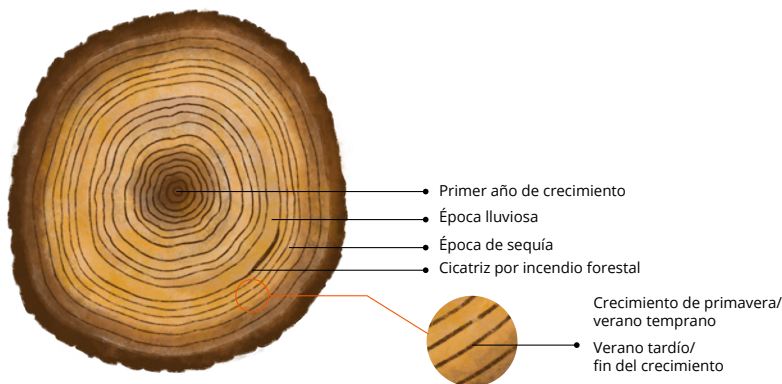
El tercer atributo se relaciona con el funcionamiento del bosque y explica su relevancia ecológica. Estos ecosistemas desempeñan roles clave en la regulación del clima, actúan como sumideros de carbono y contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático. Además, albergan una alta biodiversidad, incluyendo numerosas especies endémicas o amenazadas, y sostienen el ciclo hidrológico al regular la calidad y disponibilidad del agua. Más allá de su función ecológica, los bosques templados andinos son fundamentales para las comunidades locales, tanto por su valor turístico como por su aporte de bienes —madera, frutos, fibras y plantas medicinales— y por su profunda vinculación con la identidad, la espiritualidad y las prácticas bioculturales de los pueblos originarios.

El lenguaje de los bosques

Los árboles expresan su pasado y su presente de diversas maneras. Una de ellas es a través de la paleobotánica, disciplina dedicada al estudio de fósiles vegetales, como troncos petrificados, hojas y granos de polen preservados en suelos, sedimentos o fondos lacustres. Estos registros permiten identificar especies actuales y extintas, y reconstruir su historia a partir de su edad y distribución geográfica. El polen atrapado en capas de hielo o sedimentos, por ejemplo, revela qué especies dominaban antes de las glaciaciones y cómo los bosques se reorganizaron tras el retroceso de los hielos.

Otra vía de lectura es la dendrocronología, ciencia que analiza los anillos de crecimiento de los árboles. Cada anillo constituye una página de un diario escrito por el clima y el tiempo: años húmedos y veranos largos se reflejan en anillos más anchos, mientras que periodos de sequía, incendios o inviernos rigurosos dejan marcas más estrechas. A partir de estas señales, los científicos reconstruyen la historia ambiental y comprenden cómo los bosques han respondido a los cambios de su entorno a lo largo de siglos y milenios.

Dendrocronología: estudio de los anillos de crecimiento anual de los árboles



En conjunto, fósiles y anillos de crecimiento tejen una crónica profunda, no solo de la transformación de los bosques, sino también de la capacidad de la vida para adaptarse, una era tras otra.

Especies icónicas de los bosques de montaña

Entre los bosques templados lluviosos presentes en el Laboratorio Natural Andes del Sur (LNADS) se reconocen ecosistemas forestales de tipo caducifolio y siempreverde. Estos se caracterizan por albergar coníferas emblemáticas del sur de Sudamérica, como el *pewen* o araucaria (*Araucaria araucana*) y el alerce (*Fitzroya cupressoides*), ambas especies arbóreas declaradas Monumento Nacional.

Dentro de este territorio también se desarrolla el tipo forestal Coigüe–Raulí–Tepa, definido como una categoría que agrupa comunidades vegetales con composición y estructura similares, determinadas por factores como el clima, la altitud y el suelo. En este caso, corresponde a un bosque siempreverde dominado por especies de la familia Nothofagaceae, cuya relevancia científica radica en su valor como archivo ecológico, ya que permite reconstruir la historia y evolución de los bosques australes, así como comprender su capacidad de resiliencia frente a perturbaciones naturales y antrópicas desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

Araucaria: un árbol sagrado y resiliente



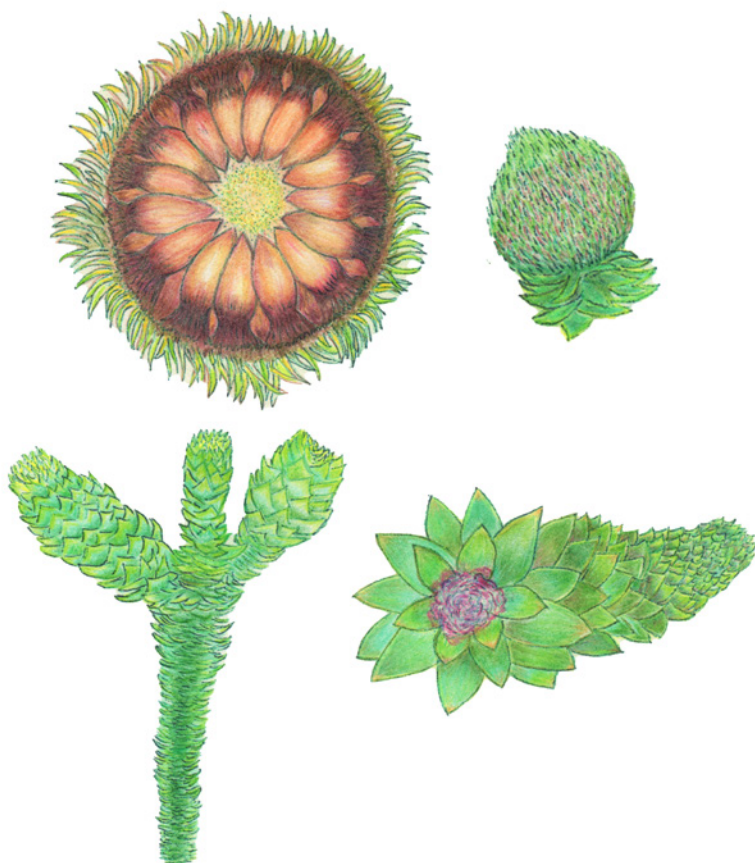
Araucaria

Fotografía: Carmen Mariqueo

La araucaria (*Araucaria araucana*) es considerada un fósil viviente, con un linaje genético que se remonta al período Jurásico, hace aproximadamente 145 millones de años. Perteneció a una familia de coníferas que en el pasado tuvo una distribución global, pero cuyas especies del hemisferio norte se extinguieron hace unos 65 millones de años. En la actualidad, su presencia se restringe al hemisferio sur, siendo *Araucaria araucana* una de las especies más singulares de los Andes del sur.

Esta especie habita zonas montañosas elevadas del centro-sur de Chile y áreas adyacentes de Argentina. En Chile, su distribución se extiende desde la Región del Biobío, en el volcán Antuco, hasta la Región de La Araucanía, en las cercanías del volcán Villarrica. También presenta poblaciones disyuntas en la cordillera de Nahuelbuta, próxima a la costa.

Detalles de rama y estructura reproductiva de *Araucaria araucana*



Crece principalmente en suelos volcánicos bien drenados, adaptándose a condiciones ecológicas extremas y frágiles. Prefiere ambientes de alta precipitación nival, entre 2000 y 4500 mm anuales, y climas rigurosos, con inviernos fríos, que pueden alcanzar entre -5 y -10 °C, y veranos cortos, con temperaturas máximas cercanas a los 30 °C. Requiere abundante luz y buen drenaje, pudiendo desarrollarse incluso sobre roca viva gracias a su sistema radicular superficial pero altamente resistente.

A partir de estudios dendrocronológicos se ha demostrado que la araucaria mantiene una estrecha convivencia con el arco volcánico activo, desarrollando una notable resiliencia frente a incendios de origen natural asociados a la caída de ceniza durante eventos eruptivos. El análisis de los anillos de crecimiento no solo da cuenta de esta adaptación ecológica, sino que también ha permitido reconstruir la historia ambiental y humana del territorio.

Entre los años 1580 y 1880 se reconoce un período previo a la colonización euro-chilena, el cual puede dividirse en dos etapas. La primera corresponde a sociedades de cazadores-recolectores pehuenche, vigente hasta aproximadamente 1750. Posteriormente, se observa una frecuencia moderada de incendios, asociada a la adopción de la ganadería por parte de grupos cordilleranos pehuenche, quienes utilizaron el fuego como herramienta para mejorar praderas de pastoreo estival y facilitar el tránsito del ganado en zonas altoandinas.

Entre 1880 y 1950 se identifica la etapa de colonización euro-chilena, caracterizada por un aumento considerable de los incendios, producto de la eliminación intensiva de bosques para la apertura de campos agrícolas, ganaderos y la explotación de araucarias. En este período, la frecuencia de incendios llegó a ser hasta diez veces superior a la registrada antes de la colonización.

Posteriormente a 1950, los incendios de origen antrópico en los bosques andinos de araucaria disminuyeron, mientras que los de origen natural proliferaron, muchos de ellos provocados por rayos. Además, los efectos del cambio climático, expresados en el aumento de la temperatura y la disminución de la disponibilidad hídrica, han generado condiciones propicias para incendios de mayor severidad y extensión. Ejemplo de ello son los eventos ocurridos en el Parque Nacional Tolhuaca y la Reserva Nacional Malleco, donde en 2002 un incendio iniciado por un rayo consumió más del 65 % de su superficie, y en la Reserva Nacional China Muerta en 2015, donde un incendio de origen humano afectó más del 50 % del área protegida.

Nothofagus: guardianes del pasado gondwánico

A partir de los 39° S, en el corazón del Laboratorio Natural Andes del Sur, los bosques de araucaria comienzan a entremezclarse con otro grupo de gigantes verdes: los Nothofagus. Aunque estas especies no cuentan con el mismo reconocimiento legal como monumentos naturales, su historia evolutiva y su amplia distribución son igualmente relevantes.

Estos árboles constituyen verdaderas páginas vivas de la historia geológica del planeta, capaces de revelar cómo era la Tierra cuando Sudamérica, Australia y la Antártida formaban parte del supercontinente Gondwana. Hace aproximadamente 80 millones de años, con el inicio de la fragmentación de Gondwana, los Nothofagus quedaron distribuidos en territorios hoy separados por océanos. Actualmente, sus parientes más cercanos se encuentran en lugares tan distantes como Nueva Zelanda y Tasmania, mientras que en Chile persisten diez especies nativas en los bosques templados. Entre ellas, tres destacan por su resistencia y adaptabilidad en los Andes del sur: el coigüe (*Nothofagus dombeiyi*), el raulí (*Nothofagus alpina*), el ñirre (*Nothofagus antarctica*) y la lenga (*Nothofagus pumilio*).



Hoja de raulí



Hoja de coigüe



Hoja de lenga

Los anillos de crecimiento de los Nothofagus conservan registros de incendios pasados, revelando un patrón claro: más del 98 % de los incendios que los afectaron ocurrieron durante el siglo XX, muchos de ellos asociados a la actividad humana. Pero, a diferencia de otros árboles, el coigüe puede regenerarse rápidamente después de un incendio, ya sea brotando con fuerza a partir de sus semillas o desde la base del tronco afectado. Esta adaptación no es casualidad, sino el resultado de una larga evolución en un territorio marcado por erupciones volcánicas, glaciaciones y cambios climáticos recurrentes.

Cada vez que caminamos bajo su sombra, estamos pisando un suelo que guarda memorias de Gondwana, del avance y retroceso de los glaciares y de incendios que, aunque dejaron cicatrices, no lograron extinguir la vida. Los Nothofagus continúan allí, contándonos su historia en silencio, a la espera de que aprendamos a escucharla.

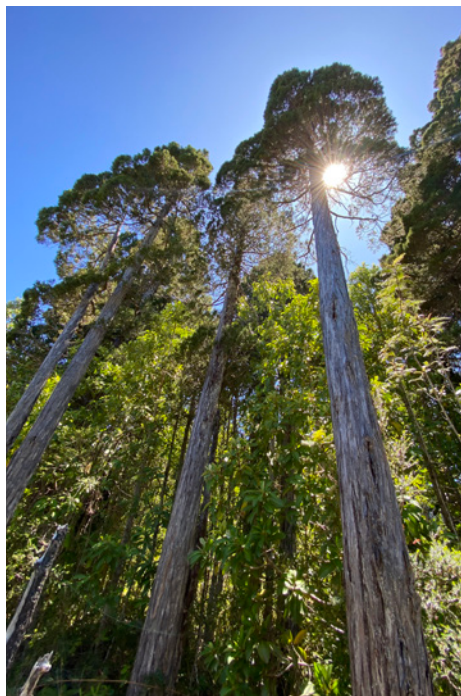
Alerce: un árbol milenario

El alerce (*Fitzroya cupressoides*) presentó en el pasado una amplia distribución, extendiéndose entre los 39° S y 45° S, desde la cordillera de la Costa, la depresión intermedia y la cordillera de los Andes.

En la actualidad, su presencia se restringe a dos áreas principales: una localizada en la cordillera de la Costa alrededor de los 40° S, y otra en la zona andino-costera de las comunas de Puerto Montt, Cochamó, Hualaihué y Chaitén. En estos sectores habita a altitudes que varían entre los 100 y 1200 msnm, bajo regímenes de precipitación anual que oscilan entre los 2000 y más de 4000 mm.

A comienzos del siglo XIX, especialmente en latitudes más australes, el alerce comenzó a ser severamente afectado por la quema y despeje de bosques, así como por la explotación maderera. Su madera, altamente valorada por su belleza y durabilidad, condujo a su completa extinción en sectores como el fiordo de Reloncaví y, posteriormente, en la zona intermedia de Llanquihue y Puerto Montt durante los procesos de colonización. Vestigios de estos antiguos alerzales persisten hoy en construcciones patrimoniales de la zona. Actualmente, la expansión urbana y el cambio de uso de suelo continúan representando amenazas significativas para la especie.

Dato: La araucaria más longeva registrada supera los 1000 años y se encuentra en el Parque Nacional Conguillío, mientras que el alerce presenta una esperanza de vida que puede superar los 4000 años.



Bosque de alerce

Fotografía: Carmen Mariqueo



Hoja de alerce

Los habitantes de la montaña

En los bosques templados de los Andes del sur, la verdadera magia no reside únicamente en los gigantescos troncos de araucarias o coigües, sino también en la diversidad de fauna que habita entre ellos. Mientras los árboles dominan el paisaje, sobre sus copas y en su interior habitan diversas aves que colorean el dosel con sus cantos, mamíferos que tejen historias en el sotobosque y especies acuáticas que dan vida a ríos y lagos.

Aves emblemáticas



Cóndor andino



Carpintero negro

Fotografías: Carmen Mariqueo



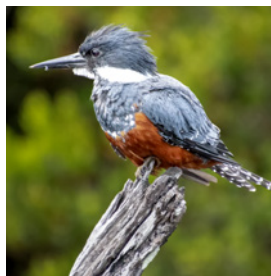
Chucazo

Cóndor andino (*Vultur gryphus*): Ave de gran envergadura que planea sobre valles cordilleranos y se alimenta de carroña, cumpliendo un rol clave en la limpieza del ecosistema.

Carpintero negro (*Campephilus magellanicus*): El mayor carpintero de Sudamérica. Se caracteriza por su plumaje negro y cresta roja. Taladra troncos para crear nidos y buscar insectos, ayudando a controlar plagas.

Chucazo (*Scelorchilus rubecula*): Ave símbolo de los bosques templados. Su canto resonante ("chucazo-chucazo") actúa como señal de alerta ante la presencia de intrusos y es clave en la mitología mapuche.

Martín pescador (*Megascyle torquata*): Habitante de ríos y lagos, especializado en la captura de peces pequeños mediante vuelos en picada.



Martín pescador

Fotografía: Juan Alonso

Mamíferos escondidos



Zorro culpeo

Fotografía: Juan Alonso



Pudú

Fotografía: Eduardo Betancourt

Monito del monte (*Dromiciops gliroides*): Pequeño marsupial endémico, considerado un fósil vivo. Se refugia en huecos de árboles y juega un rol crucial dispersando semillas.

Pudú (*Pudu pudus*): El ciervo más pequeño del mundo. Habita bosques densos cercanos a cursos de agua y es vulnerable a la pérdida de hábitat.

Zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*): El zorro más grande de Chile. Controla poblaciones de roedores y se adapta desde bosques hasta la alta montaña.

Huillín (*Lontra provocax*): Nutria nativa en peligro de extinción. Depende de ríos y lagos cristalinos para cazar crustáceos y peces.

Vida en ríos y lagos

Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): Especie introducida, pero actualmente integrada al ecosistema.

Puye grande (*Galaxias platei*): Pez nativo de lagos andinos.

Ranita de Darwin (*Rhinoderma darwinii*): Anfibio endémico que se camufla entre la hojarasca.

¿Por qué son importantes?

Estas especies cumplen un rol fundamental como bioindicadores de la salud de los ecosistemas, ya que su presencia señala bosques y cursos de agua bien conservados, estables o prístinos. Sin embargo, muchas se encuentran en peligro crítico —como el monito del monte, altamente vulnerable a la fragmentación forestal— o en peligro —como el huillín, afectado por la contaminación de ríos—. Su declive no solo refleja alteraciones ambientales, sino que compromete funciones ecológicas clave, como la dispersión de semillas, el control de plagas y los ciclos de nutrientes que sostienen la vida de estos bosques.

Desde la cosmovisión mapuche, estas criaturas son mucho más que fauna: son puentes entre mundos. El chucao, considerado un mensajero de la tierra, anuncia cambios en el entorno a través de su canto; el pudú, reconocido como un *ngen* o espíritu guardián, media entre lo terrenal y lo espiritual. Su desaparición implicaría no solo una pérdida biológica, sino el quiebre de un diálogo milenario entre cultura y naturaleza. Protegerlas significa, por tanto, resguardar simultáneamente la biodiversidad y los sistemas de conocimiento ancestral que las veneran.

Protección y desafíos para la conservación

Uso histórico y transformación de los bosques

Los bosques templados de los Andes del sur han sido modelados por siglos de interacción humana. Durante el período pehuenche (1580–1750), el uso del fuego fue limitado. Este escenario cambió radicalmente con la colonización euro-chilena (1880–1950), que impulsó una deforestación masiva para la expansión agrícola, ganadera y la explotación maderera de especies emblemáticas como la araucaria y el alerce.

Este último período marcó un punto crítico en la historia ecológica del territorio: la frecuencia de incendios aumentó hasta diez veces respecto del período indígena, y el alerce sufrió extinciones locales en sectores como el fiordo de Reloncaví. Si bien en la actualidad persisten prácticas tradicionales mapuche asociadas al uso sostenible del *pewen*, la presión por el cambio de uso de suelo y la ocurrencia de mega incendios continúan amenazando la integridad de estos ecosistemas.

Hitos legislativos: entre avances y retrocesos

La protección legal de los bosques andinos ha seguido un camino mayoritariamente reactivo. Tras los impactos del siglo XIX, surgieron las primeras normativas orientadas a regular la tala y los incendios forestales.

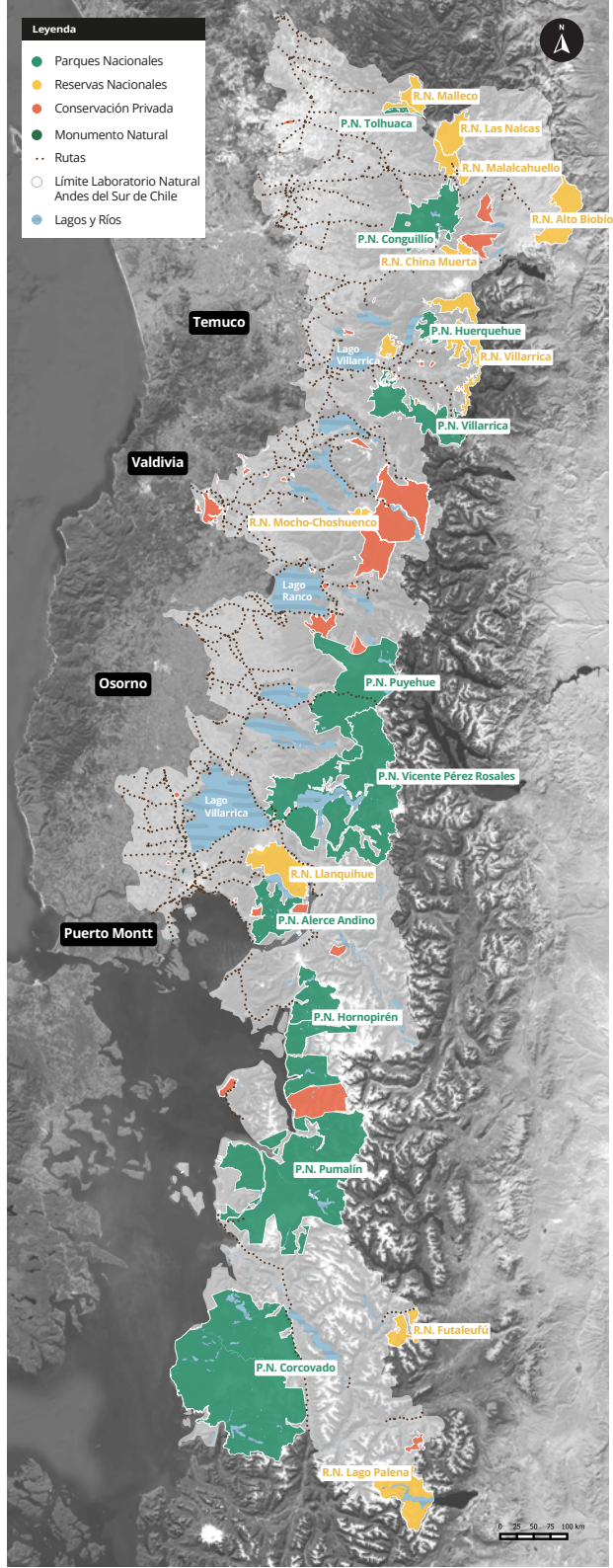
- **1872–1925:** La denominada *Ley corta de bosques* (1872) y el Decreto Ley 656 (1925) buscaron establecer controles sobre la explotación forestal, aunque con mecanismos de fiscalización limitados.
- **Protección simbólica (1976):** La araucaria y el alerce fueron declarados Monumentos Naturales. Sin embargo, la araucaria perdió esta categoría en 1987 por presiones privadas, siendo restituida en 1990 gracias a la movilización del pueblo mapuche-pehuenche.
- **Ley 20.283 (2007):** Prohíbe la tala del bosque nativo, pero contempla excepciones que han sido objeto de críticas.

Estos hitos reflejan avances significativos, pero también las tensiones persistentes entre conservación, intereses productivos y gobernanza territorial.

Gestión de la conservación: el rol de las áreas protegidas

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), administrado por CONAF, constituye la base de la conservación de los bosques andinos. En el territorio del Laboratorio Natural Andes del Sur se distribuyen 10 parques nacionales, 10 reservas nacionales y un monumento natural, conformando una red que se extiende desde la Reserva Nacional Malleco en la Región de la Araucanía —creada en 1907, la más antigua del país— hasta el Parque Nacional Pumalín Douglas Tompkins, el más reciente, donado como área protegida al Estado en 2018 por el filántropo Douglas Tompkins, quien resguardó por décadas ecosistemas únicos, especies endémicas y paisajes modelados por el fuego y el agua en la zona sur de la Región de Los Lagos.

Áreas protegidas en el Laboratorio Natural Andes del Sur



En conjunto, estas áreas protegen aproximadamente 24.400 km² de bosque nativo, equivalentes al 42 % de la superficie del Laboratorio Natural Andes del Sur. Esta red cumple un rol clave en la regulación climática, la retención de carbono y la protección de cuencas hidrográficas. No obstante, su efectividad depende de una gestión activa, integrada y territorialmente situada, que articule conocimiento científico y saberes locales.

Los programas de conservación más recientes han incorporado el monitoreo participativo y la restauración ecológica como herramientas centrales. En este enfoque, comunidades rurales y pueblos originarios asumen un rol cada vez más protagónico, aportando conocimientos ancestrales y prácticas sostenibles que enriquecen la planificación ambiental. De este modo, la conservación deja de concebirse como una tarea aislada y se transforma en un esfuerzo colectivo, donde ciencia, educación ambiental y gobernanza territorial convergen para asegurar que los bosques de montaña continúen siendo fuente de vida, equilibrio y memoria para las generaciones futuras.



CAPÍTULO 8

REFUGIO

ANDINO:

HISTORIA,

PUEBLOS Y

PAISAJES

Vida humana en los márgenes de la montaña

En los márgenes de la montaña, la historia se escribe entre pasos cordilleranos, pueblos antiguos y paisajes en permanente transformación. Los Andes del sur han sido refugio de culturas, memorias y biodiversidad, configurando una **identidad de montaña** que se ha mantenido y resignificado hasta la actualidad.

Trayectorias de poblamiento, movilidad y frontera en los Andes del sur

La cordillera de los Andes constituye un eje central en múltiples representaciones e imaginarios territoriales. Por una parte, su función como articulador del espacio nacional se sustenta en su presencia longitudinal y en su consolidación como límite fronterizo entre Chile y Argentina. Por otra, la movilidad histórica transfronteriza da cuenta de su rol como espacio de conexión geográfica y cultural entre los distintos grupos humanos que han habitado la región. Entre ellos, destacan los pueblos mapuche-pehuenche y huilliche, cuya relación ancestral con la cordillera alberga una percepción sacralizada de este hito geográfico. Asimismo, gauchos, campesinos, colonos y migrantes han desarrollado, a lo largo del tiempo, modos de vida estrechamente vinculados al habitar de montaña.

El poblamiento de esta región montañosa ha estado determinado por dos factores clave. El primero corresponde a su prolongada historia de ocupación, que se remonta a las comunidades prehispánicas y continúa con las misiones religiosas y la llegada de colonos europeos y chilenos. El segundo se relaciona con los ciclos económicos que atrajeron población y dieron origen a asentamientos más recientes. Este proceso, lejos de ser estático, se mantiene vigente a través de actividades como el turismo y la expansión de las parcelaciones, reafirmando el carácter dinámico y en constante transformación del territorio.

Casa en sector La Junta, Cochamó

Fotografía: Claudia Dauré

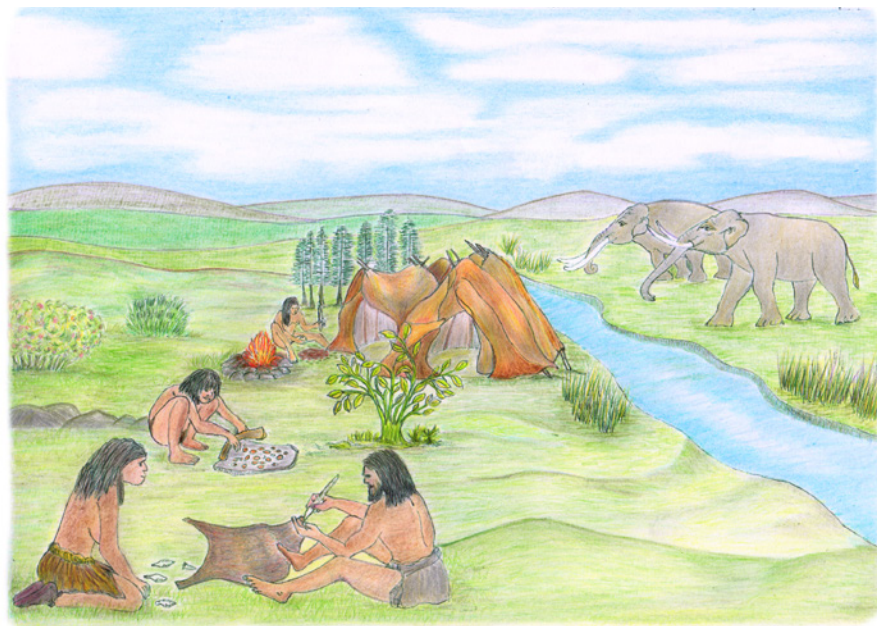


Ocupación temprana y prehispánica en los Andes del sur

En 1976, en el sector de Monteverde, comuna de Puerto Montt, se identificaron vestigios arqueológicos que evidencian la presencia del asentamiento humano más antiguo del continente americano. Según los estudios liderados por Tom Dillehay, estos restos datan entre los 14.500 y 18.500 años de antigüedad y dan cuenta del uso temprano de tecnología ósea y lítica, así como de artefactos de madera, lo que permitió redefinir las cronologías previamente aceptadas sobre el poblamiento humano temprano en América.

Otros sitios arqueológicos relevantes en la cordillera de los Andes presentan manifestaciones de arte rupestre asociadas a pasos cordilleranos, como el Paso El León y Curarrehue, así como a sectores vinculados a ocupaciones canoeras tardías, como el Morro Vilcún. De igual forma, destacan los estudios sobre el uso de la obsidiana como recurso lítico, cuyas principales fuentes se asocian a los volcanes Chaitén y Sollipulli.

Monteverde



El *Wallmapu*, territorio ancestral mapuche, reconoce a la cordillera de los Andes como un eje fundamental de conexión entre el *Puelmapu*, al este (Argentina), y el *Ngulumapu*, al oeste (Chile). La movilidad constante entre ambas laderas del cordón andino se remonta al periodo prehispánico y refleja el profundo conocimiento que las comunidades mapuche desarrollaron sobre el territorio montañoso del actual LNADS.

Este espacio se organizaba originalmente en cuatro Fütalmapus: *Puelmapu* (tierra del este), *Pikunmapu* (tierra del norte), *Ngulumapu* (tierra del oeste) y *Willimapu* (tierra del sur). Esta organización territorial fue transformada producto de la conquista española y de la posterior ocupación del territorio a fines del siglo XIX. Estos procesos implicaron la cesión del *Pikunmapu* y el surgimiento de nuevas identidades territoriales, como las de los huenteche, pehuenche y lafkenche, al oeste de la cordillera.

La ocupación del territorio se estructura en torno a los *lofmapu*, espacios comunitarios de alto valor social y cultural donde habitan diversas comunidades indígenas. Sin embargo, los procesos históricos de despojo y desplazamiento forzado provocaron que gran parte de las comunidades mapuche del LNADS se asentaran en reducciones territoriales alejadas de sus *lof ancestrales*.

Las comunidades mapuche-pehuenche se vinculan cultural y territorialmente al área de distribución de los bosques de *pewen* (*Araucaria araucana*), en las laderas de la cordillera de los Andes. Estas comunidades han mantenido una relación profunda con esta especie, basada en la recolección y el uso de sus semillas como alimento sagrado. Entre sus prácticas tradicionales destaca la trashumancia, que implica el traslado estacional del ganado hacia zonas de montaña durante el periodo estival.



Ilustración de campamento pehuenche
en bosques de *pewen* (*Araucaria araucana*)
hacia 1840

Fuente: Poeppig (1960)

Trengtreng y Kaikai vilú: la montaña en la cosmovisión mapuche

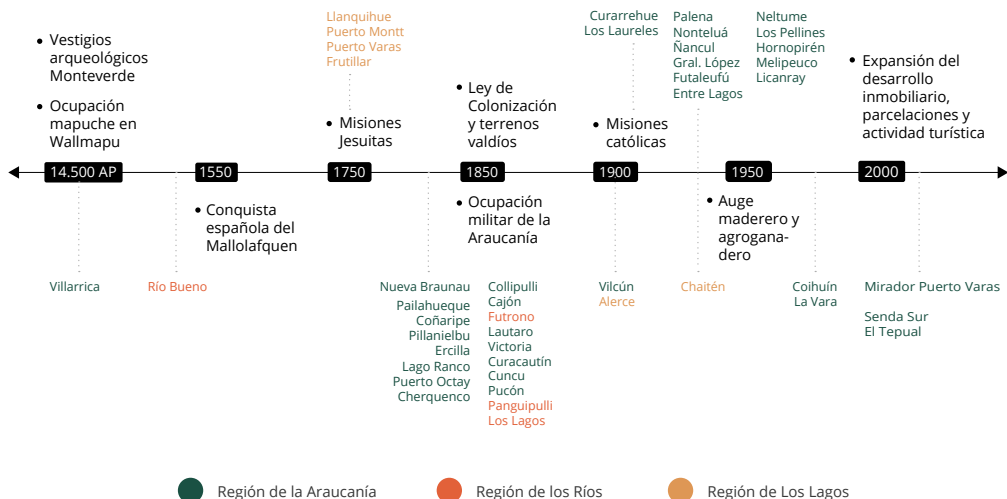
El relato fundacional de Trengtreng y Kaikai vilú constituye una de las narraciones más significativas de la cosmovisión mapuche. En él se describe el enfrentamiento entre dos serpientes míticas colosales, que representan las fuerzas de la tierra y el mar. Kaikai vilú —serpiente marina—, se enoja y provoca una gran inundación con el propósito de acabar con la humanidad, mientras que Trengtreng vilú —serpiente terrestre—, compadecida de los humanos, eleva las montañas para resguardarlos.

Este relato, junto con sus diversas variantes, evidencia la relevancia de las montañas como elementos geográficos fundamentales en la cosmovisión mapuche. En ellas nace el sol, se concentra la energía vital y se expresa un espacio sagrado y positivo asociado al origen y la continuidad de la vida.

Las comunidades mapuche-huilliche, cuyo nombre significa “gente del sur”, habitan el *Futawillimapu*, territorio al sur de Villarrica, que se extiende desde la cordillera de la costa hasta las zonas precordilleranas y lacustres. Este paisaje se caracteriza por la presencia de lagos, los cuales eran recorridos ancestralmente mediante canoas o wampos elaborados a partir de troncos tallados de raulí, ulmo o coigüe.

Durante el periodo de la conquista española se fundó Villarrica en 1550, el núcleo urbano más antiguo del LNADS y, en la actualidad, uno de los más poblados (67.730 habitantes), junto con la conurbación Puerto Montt-Puerto Varas.

Cronología de la ocupación humana en los Andes del sur



Durante el siglo XVIII, diversas congregaciones misioneras recorrieron el territorio con el objetivo de evangelizar a los pueblos indígenas. Estas acciones religiosas, a su vez, facilitaron el avance del Estado sobre la frontera mapuche y la expansión territorial, como ocurrió con la fundación de Río Bueno en 1778.

En este mismo periodo se consolidó la llamada Ruta de los Jesuitas, que abarcaba el territorio adyacente al paso Vuriloche y se vinculaba a la misión Nuestra Señora de Nahuelhuapi, establecida en la vertiente oriental de la cordillera. Posteriormente, a mediados del siglo XIX, misioneros franciscanos y capuchinos reforzaron esta presencia con la instalación de nuevas misiones en las regiones de La Araucanía y Los Ríos, sentando las bases para la fundación de poblados como Panguipulli, Coñaripe, Cunco, Vilcún y Lonquimay.



Plano ilustrativo de la Región de Nahuelhuapi
Diarios de FR. F. Menéndez. Publicado y comentado por Francisco Fonck

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se intensificó el poblamiento de la zona precordillerana, impulsado por la campaña de militarización de La Araucanía y por la Ley de Colonización y Terrenos Baldíos. Este proceso favoreció la llegada de colonos europeos y chilenos, quienes se radicaron principalmente en zonas que reunían las condiciones para el desarrollo agrícola y ganadero, como la ribera del lago Llanquihue, los llanos de Río Bueno y otros sectores de la Región de La Araucanía. En la actualidad, la influencia europea, especialmente germana, se manifiesta en la arquitectura, la gastronomía, el desarrollo científico y la educación.

Hacia fines del siglo XIX, el Estado comenzó la regularización de las tierras habitadas por colonos en el *Wallmapu*, lo que se tradujo en el despojo y reducción del territorio ancestral mapuche. La reconfiguración territorial dio lugar a grandes propiedades privadas destinadas a la explotación del bosque nativo, particularmente de especies como araucaria, alerce y raulí. A ello se sumaron extensas rozas y quemadas que redujeron considerablemente la cobertura boscosa, transformando de manera profunda el paisaje del bosque templado.



Fotografía histórica de colonos en las inmediaciones del lago Llanquihue

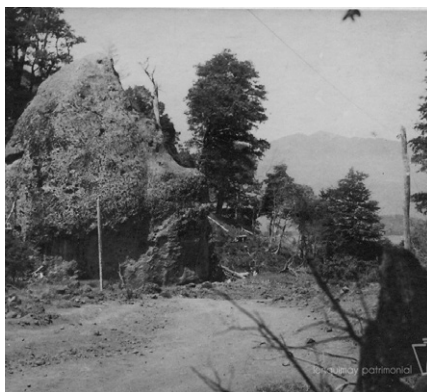
Fuente: Memoria chilena

El crecimiento de la actividad forestal atrajo trabajadores y familias, consolidando experiencias como el Complejo Forestal y Maderero Panguipulli (COFOMAP) durante la segunda mitad del siglo XX. Este proceso fue acompañado por una significativa inversión estatal en infraestructura, en particular en la red ferroviaria, que permitió articular longitudinalmente el territorio nacional y favoreció la integración y apertura del sur de Chile.

En este mismo proceso de expansión, al sur del seno del Reloncaví, el poblamiento tardío dio origen a asentamientos vinculados a pioneros y gauchos en la Norpatagonia occidental. En este territorio de geografía fragmentada, influido por estuarios y montañas, se establecieron familias atraídas inicialmente por la explotación maderera y, posteriormente, por el desarrollo agroganadero.

Movilidades trasandinas: atravesar la cordillera desde tiempos ancestrales

Desde la Región de La Araucanía hacia el sur, la cordillera disminuye progresivamente su altura, facilitando el tránsito entre Chile y Argentina a través de diversos pasos cordilleranos. Estas rutas han sido utilizadas desde tiempos ancestrales como corredores de intercambio comercial y cultural entre el *Ngulumapu* (Chile) y el *Puelmapu* (Argentina). Atravesar la *Pire Mawiza* (montaña nevada) posee un carácter sagrado, por lo que los pasos cordilleranos son comprendidos como espacios rituales. En la actualidad, muchas de estas huellas continúan siendo utilizadas para el arreo de ganado hacia las veranadas.



Piedra Retricura

Fuente: Lonquimay Patrimonial

Durante el siglo XVIII, los pasos cordilleranos adquirieron un carácter estratégico para las misiones jesuitas y franciscanas en su avance hacia la Patagonia norte de Argentina. En este contexto, el paso Vuriloche fue clave para el tránsito de misioneros vinculados al proyecto transcordillerano “Nuestra Señora de Nahuel Huapi”, así como por su potencial para articular un circuito económico y comercial con proyección atlántica.

Este potencial comercial volvió a hacerse evidente a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX, cuando distintas sociedades promovieron el desarrollo de la ganadería industrial en la Patagonia. Entre ellas, la Sociedad Comercial y Ganadera Chile-Argentina consolidó un modelo empresarial binacional que aprovechó los pastizales de montaña para la engorda del ganado, el cual posteriormente era arreado por el Camino de Cochamó con destino a su exportación a través del océano Pacífico. Si bien la empresa declinó con el tiempo, la práctica del arreo a caballo a través de los pasos cordilleranos se mantuvo entre las familias de los valles de Cochamó, Puelo y Futaleufú, consolidando la ruta tropera y una identidad gaucha que aún perdura en este territorio.

El aislamiento en los modos de vida de montaña

La habitabilidad de estos territorios ha estado históricamente condicionada por una geografía fragmentada y por condiciones climáticas adversas, lo que ha reforzado situaciones de rezago y aislamiento. Estas dinámicas se reflejan en las dificultades de integración territorial y en el acceso limitado a servicios básicos.

Obras como la construcción de la Carretera Austral permitieron integrar por vía terrestre a las localidades ubicadas entre los paralelos 41° y 48° al circuito nacional. Del mismo modo, la ampliación de la red ferroviaria en su eje longitudinal hasta Puerto Montt, junto con la conexión transversal mediante ramales, facilitó la articulación de diversos asentamientos. En paralelo, iniciativas como el Plan de Electrificación Nacional buscaron impulsar el desarrollo productivo del sur de Chile mediante la construcción de centrales hidroeléctricas en ríos cordilleranos. Además de mitigar el aislamiento funcional de estas localidades, dichos proyectos respondieron también a una dimensión simbólica, orientada a reafirmar la soberanía nacional y el control fronterizo a lo largo del siglo XX.



Cuesta Las Raíces, comuna de Lonquimay

Fotografía: Patricio Contreras



Fotografía de la construcción del túnel Las Raíces, boca norte Curacautín

Fuente: Ministerio de Obras Públicas

El aislamiento y el rezago constituyen ámbitos estratégicos que han sido abordados desde el sector público mediante la formulación de políticas, planes y programas orientados a revertir las problemáticas asociadas a esta condición. Entre estas iniciativas, destacan los proyectos de inversión en infraestructura vial, conectividad y transporte, como la implementación del sistema bimodal en la Región de Los Lagos.

Asimismo, a través de diversos programas públicos ejecutados principalmente por las municipalidades, se ha buscado ampliar la cobertura de servicios sociales, de salud y educación en el territorio, junto con promover el desarrollo local y la generación de nuevas oportunidades para las comunidades.



Barcaza Caupolicán, lago Tagua Tagua

Fotografía: Claudia Dauré

Uno de los efectos del aislamiento de las zonas rurales es la intensa movilidad de sus habitantes hacia los principales centros urbanos regionales para acceder a servicios básicos, como salud y educación. En el caso de los jóvenes, esta movilidad suele transformarse en migración permanente, ante la percepción de una oferta limitada de oportunidades educativas y laborales en sus territorios de origen. Junto con concentrar mayores expectativas de futuro, las ciudades ofrecen también dinámicas culturales distintas a las propias de los espacios rurales, especialmente en ámbitos de recreación y entretenimiento. Como consecuencia, se acentúa el envejecimiento de la población en la ruralidad de los Andes del sur de Chile, con una disminución sostenida de población joven. Esta situación constituye una amenaza tanto para la transmisión de conocimientos y prácticas ancestrales como para la sostenibilidad de las economías locales.

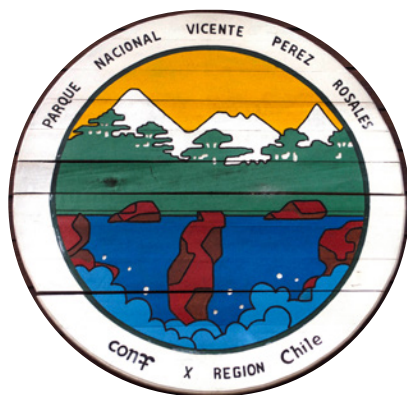
En los últimos años, el turismo y otras iniciativas asociadas a la innovación tecnológica han abierto posibilidades incipientes para la permanencia de jóvenes en contextos rurales, contribuyendo a la dinamización de las economías locales. En este marco, organismos públicos como el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP) han generado programas e instrumentos para abordar las principales brechas de este grupo etario, promoviendo alternativas de empleo vinculadas al sector agropecuario.

Las montañas como refugio: enfoques de conservación en los Andes del sur

La singular diversidad biocultural de los Andes del sur configura un territorio único para el desarrollo de acciones de conservación impulsadas por comunidades locales, pueblos indígenas, organismos públicos, instituciones internacionales y actores privados.

La creación de áreas protegidas estatales en Chile se remonta a comienzos del siglo XX, con el establecimiento de la Reserva Nacional Malleco (1907) y de los parques nacionales Benjamín Vicuña Mackenna (1925) y Vicente Pérez Rosales (1926). Estas iniciativas constituyeron las primeras áreas protegidas del país y, con excepción del Parque Nacional Benjamín Vicuña Mackenna, que fue desahectado en 1929, forman parte de los nueve parques y once reservas nacionales que actualmente son administrados por el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas (SBAP).

A estas áreas protegidas por el Estado (ver capítulo 7) se suman múltiples iniciativas privadas de conservación, orientadas a la conservación de la biodiversidad y a la promoción del desarrollo sustentable. Entre ellas destaca la asociación Así Conserva Chile, que articula esfuerzos de conservación privadas y de pueblos originarios de Chile, integrando diversas áreas de conservación presentes en el territorio, como el Parque Tagua Tagua, Parque Futangue, Bosque Pehuén, entre otras.



Logotipo Parque Nacional Vicente Pérez Rosales

Fotografía: Claudia Dauré

El Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile cuenta además con diversas declaratorias internacionales que reconocen su singularidad territorial. Entre ellas, las Reservas de la Biósfera Araucarias y Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes destacan su relevancia como hotspot de biodiversidad y ponen en valor las oportunidades que estos ecosistemas ofrecen para impulsar un desarrollo sostenible en los ámbitos sociocultural y ambiental. En este marco, su zonificación distingue áreas núcleo destinadas a la protección estricta, zonas de amortiguamiento que, de manera contigua a las áreas núcleo, promueven actividades compatibles con la conservación ecológica, y zonas de transición, orientadas principalmente al desarrollo de actividades humanas y económicas sostenibles.

En 2019, la declaratoria del Geoparque Kütralkura reafirmó la importancia geológica del territorio, al articular el patrimonio natural con las dimensiones culturales vinculadas a la memoria de la Tierra. Este geoparque integra sitios que evidencian la geodiversidad de los paisajes de montaña, subrayando tanto la necesidad de su conservación como las potencialidades que ofrecen en los ámbitos educativo y de desarrollo sustentable para las comunidades locales.

De manera complementaria, en noviembre de 2025, parte del territorio del LNADS fue reconocido por FAO como un Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM). Esta iniciativa promueve la comprensión, la sensibilización y el reconocimiento, a nivel nacional e internacional, de los sitios de patrimonio agrícola. Su propósito es contribuir a la salvaguardia de los bienes y servicios sociales, culturales, económicos y ambientales que estos sistemas entregan a la agricultura familiar, a los pequeños productores, a los pueblos indígenas y a las comunidades locales



Geositio Cañadón del río Truful Truful, Geoparque Kütralkura

Fotografía: Alejandra González

Identidades de montaña y paisajes bioculturales

Las actividades agrícolas y ganaderas reflejan el estrecho vínculo que las comunidades locales han sostenido con la naturaleza, configurando paisajes bioculturales de montaña. Estas trayectorias han reforzado valores asociados al esfuerzo, la cooperación y la vida comunitaria frente a la adversidad.

Esta relación con el territorio incluso trasciende las fronteras político-administrativas entre Chile y Argentina. En este contexto, es posible hablar de identidades transfronterizas, compartidas a ambos lados de la cordillera. Las distancias geográficas y culturales entre localidades vecinas suelen ser menores que aquellas que las separan de otros poblados dentro de un mismo país, como ocurre en el caso de Futaleufú y Trevelín, ubicadas a solo 30 km de distancia.



Yunta de bueyes en Puerto Fuy, 1954

Fuente: Dirección Museológica UACH

En este contexto, la agricultura familiar campesina ha sido fundamental en la consolidación de estas identidades asociadas a la vida rural, a través de prácticas como el arreo y la trashumancia. Estas tradiciones se remontan tanto a la cultura mapuche como a la colona, y se expresan en la Araucanía andina y en la Patagonia norte.

Un ejemplo emblemático de lo anterior es el Territorio Cordillera Pehuenche, habitado desde tiempos prehispánicos por el pueblo mapuche-pehuenche. En este paisaje biocultural destaca el *pewen* o araucaria, árbol milenario y sagrado, cuya relevancia atraviesa las dimensiones religiosas, económicas, culturales y alimentarias de las comunidades que lo habitan.

La relevancia del *pewen* como elemento articulador de un sistema de vida complejo fue uno de los factores que permitió que el territorio fuera reconocido internacionalmente como una Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM), recibiendo la denominación específica de “Sistema ancestral de la cordillera pehuenche: huertos familiares, recolección y trashumancia en el territorio Ngulumapu”. Esto evidencia la existencia de un sistema agrícola resiliente que integra 3 prácticas, a saber:

- **Huerta biodiversa:** espacios multipropósito donde se cultiva una amplia diversidad de especies de valor alimentario, medicinal y ornamental. Son gestionadas principalmente por mujeres indígenas y no indígenas, cuyos saberes se transmiten de generación en generación.
- **Recolección de productos forestales no madereros (PFNM):** realizada en bosques primarios y secundarios, humedales y ambientes altoandinos. Esta práctica involucra cerca de doscientas especies, entre las que sobresalen la semilla del *pewen* o piñón, diversos hongos silvestres, hierbas medicinales, fibras naturales, frutos silvestres y plantas ornamentales.
- **Ganadería trashumante:** consiste en el traslado estacional del ganado desde las zonas de invernada hacia las veranadas para su alimentación durante el verano. Las zonas de invernada corresponden a áreas de menor altitud, generalmente próximas al hogar, donde el forraje suele suministrarse de forma manual, mientras que las veranadas se localizan en bosques de *pewen* y hábitats altoandinos.

La geografía fragmentada del Laboratorio Natural Andes del Sur configura un escenario en el que las limitaciones espaciales se transforman en oportunidades para la conservación ecológica y cultural. Esta condición de refugio, en un contexto global marcado por la homogeneización cultural y el cambio ambiental, sustenta tanto el valor de los poblados de montaña en la

construcción de territorialidades singulares y modos de habitar específicos, como la conservación de ecosistemas de relevancia mundial. En este marco, la conservación del patrimonio biocultural adquiere sentido al superar una comprensión estática de los territorios de montaña, para avanzar hacia un enfoque que reconoce cómo los sistemas de conocimiento locales, las prácticas productivas y las cosmovisiones indígenas se entrelazan de manera directa con los procesos ecológicos y la biodiversidad del territorio.



Llifén, comuna de Futrono

Fotografía: Claudia Dauré

A full-page background image with an orange color overlay. It depicts a group of five hikers on a rocky, mountainous trail. The hikers are wearing hats and carrying trekking poles. The sky is filled with large, billowing clouds. The overall mood is adventurous and scenic.

CAPÍTULO 9

Economía, conflictos y conservación

Cuando el desarrollo se enfrenta a la montaña

Los Andes del sur configuran un territorio donde economía, cultura y naturaleza se encuentran en permanente diálogo. Entre oportunidades productivas y conflictos territoriales, la montaña emerge simultáneamente como escenario de **desarrollo económico** y como espacio clave para la **conservación ecológica y cultural**.

La cordillera de los Andes en los ojos de las economías globales

Las montañas de los Andes del sur de Chile, modeladas por el volcanismo, las aguas y extensos bosques, conforman un paisaje singular que ha propiciado el desarrollo de actividades económicas de escala local, nacional e internacional. Sin embargo, estos socioecosistemas presentan una alta fragilidad frente a intervenciones humanas intensivas, lo que representa un riesgo para la conservación de su valor ecológico y su particularidad cultural.

Históricamente, el territorio ha albergado actividades económicas vinculadas al sector silvoagropecuario. A escala local, la agricultura familiar campesina se ha consolidado como un sistema sociocultural de gran relevancia identitaria. En paralelo, a escala nacional e internacional, se han desarrollado emprendimientos productivos como la Sociedad Anónima Comercial y Ganadera Chile-Argentina, que identificó el potencial del paso Cardenal Samoré como ruta comercial, contribuyendo a la consolidación de la identidad arriera en Patagonia Verde.

En las últimas décadas, los Andes del sur han captado la atención de proyectos de inversión asociados a sectores productivos insertos en cadenas globales de valor. Entre los años 1996 y 2022, el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobó 1.633 proyectos vinculados a los sectores de energía, pesca y acuicultura, desarrollo inmobiliario, entre otros.

Este espacio compartido, donde convergen intereses económicos locales, nacionales e internacionales, genera tanto sinergias como tensiones, evidenciando disputas históricas entre las visiones de las comunidades locales, los intereses privados y las políticas estatales en torno a la gestión de los territorios de montaña.

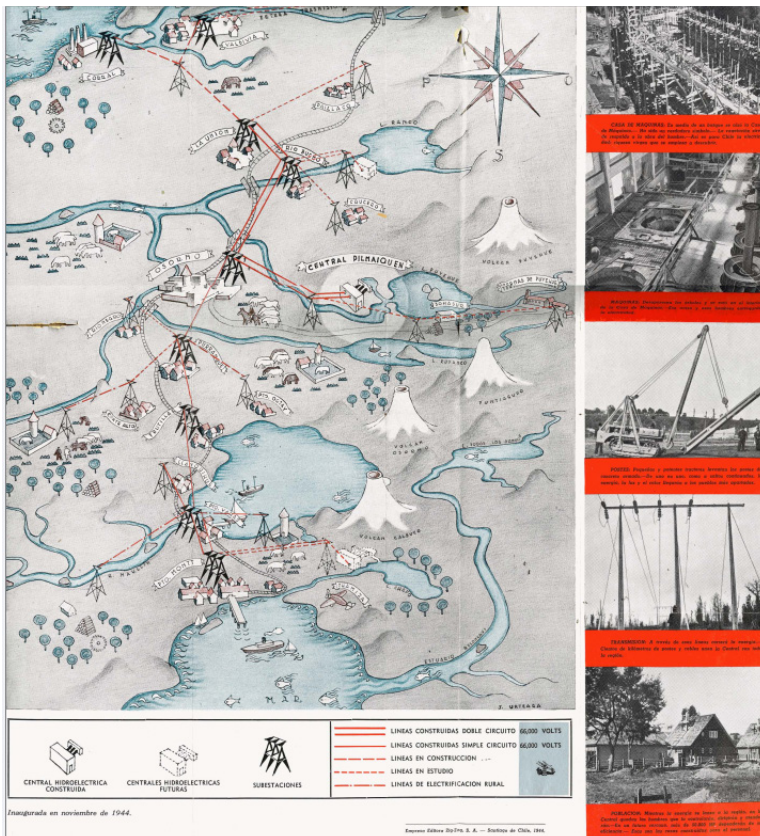
Economías en torno al agua

La abundancia hídrica constituye uno de los rasgos más determinantes de los Andes del sur. Sus once cuencas hidrográficas concentran glaciares y ríos que aseguran una provisión permanente de agua dulce, configurando la ecorregión de la Selva Valdiviana y sosteniendo el asentamiento humano y los modos de vida locales. Estos paisajes del agua ocupan un rol central en diversas actividades productivas, generando tensiones entre su condición de bien natural común y su uso con fines económicos.

El contexto hídrico en Chile se caracteriza por la privatización de los derechos de agua, establecidos en el Código de Aguas de 1981, que define el recurso simultáneamente como “bien nacional de uso público” y “bien económico”. Esta normativa distingue entre derechos consuntivos —que implican el consumo del agua— y no consuntivos —que permiten su aprovechamiento con posterior restitución al cauce—, promoviendo la conformación de un mercado de especulación. Actualmente, cerca del 90 % de los derechos de agua del país se concentran en la zona de los Andes central y sur, destacando su uso en la generación hidroeléctrica y la acuicultura.

La fuerza de los ríos: producción energética

Las primeras experiencias de la industria hidroeléctrica en Chile se remontan al período del Estado desarrollista de mediados del siglo XX y al modelo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI), orientado a avanzar en el plan de electrificación nacional y fortalecer el desarrollo industrial en la zona sur por medio de proyectos de generación de energía hidroeléctrica ejecutados por privados. En este contexto, en 1940 se construyó la primera central hidroeléctrica del país en la comuna precordillerana de Puyehue, mediante el represamiento de los saltos del río Pilmaiquén, cuyo nombre dio origen al proyecto.



Publicidad de la central hidroeléctrica Pilmaiquén, ENDESA, 1944

Desde la década de 1990, la industria hidroeléctrica se consolidó como el principal sector demandante de derechos de aprovechamiento de aguas no consuntivas, debido a su carácter estratégico en la diversificación de la matriz energética nacional y su asociación con las políticas de transición hacia energías renovables.

La concentración de proyectos hidroeléctricos en territorios de montaña, especialmente en el sur del país, ha posicionado a este sector como uno de los principales protagonistas de conflictos territoriales a escala nacional. Los impactos asociados al represamiento de ríos generan externalidades negativas sobre la biodiversidad, el paisaje y los modos de vida de comunidades locales e indígenas, considerando además la centralidad del agua en la cosmovisión mapuche.

Entre aguas dulces y saladas: la acuicultura del salmón ante los ojos del mundo

La industria acuícola de salmónidos experimentó un crecimiento intensivo desde la década de 1980, consolidándose como uno de los principales sectores productivos que posicionan a Chile como proveedor global de salmón. Su desarrollo requiere la articulación de diversos ecosistemas para las distintas fases productivas de la especie, dando origen a un clúster productivo en el sur y austral del país.

En los Andes del sur, los ríos cordilleranos proveen las condiciones necesarias para la etapa de cultivo de alevines; la confluencia de aguas dulces y saladas del estuario del Reloncaví facilita la fase intermedia de transformación; y los fiordos constituyen el entorno óptimo para la engorda. Esta actividad ha generado empleo en territorios rurales con limitadas alternativas laborales, siendo la Región de Los Lagos la que concentra el mayor porcentaje de ocupación nacional asociada al sector.

No obstante, su carácter intensivo ha generado importantes impactos ambientales, entre ellos la fuga de salmones —especie exótica— y la contaminación derivada de desechos orgánicos e inorgánicos, evidenciada en ríos y cuerpos de agua, así como en la proliferación de basurales ilegales.



Estas externalidades también afectan las dimensiones sociales y culturales, especialmente por la incompatibilidad entre la acuicultura industrial y el uso ancestral de los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO), así como con prácticas tradicionales de pesca y acuicultura local. Estas tensiones han impulsado debates en torno a la planificación territorial, la entrega de concesiones marítimas y la fiscalización ambiental.



Desechos industriales (arriba) e infraestructura (abajo) asociados a la salmonicultura

Fotografías: Claudia Dauré

La turistificación de los Andes del sur: conservación y desarrollo inmobiliario

Los Andes del sur se asocian a un paisaje dominado por bosques, volcanes y aguas cristalinas, atributos que han impulsado el turismo de intereses especiales (TIE) basado en la naturaleza. A ello se suma una rica diversidad cultural que abre oportunidades para el turismo rural e indígena, integrando gastronomía, saberes y expresiones culturales locales.

Las áreas silvestres protegidas, tanto públicas como privadas, concentran los principales atractivos del turismo de naturaleza. En este contexto, el número de áreas privadas de conservación ha aumentado de forma sostenida; actualmente, los Andes del sur albergan 67 áreas privadas que abarcan una superficie aproximada de 1967 km².



Turismo de montaña, cumbre norte del volcán Puyehue

Fotografía: Paulino Arredondo

El desarrollo turístico ha contribuido a consolidar un imaginario de amenidad centrado en el paisaje de montaña, incentivando la llegada de nuevos habitantes urbanos a sectores rurales. Este fenómeno ha impulsado el desarrollo inmobiliario, especialmente a través de parcelas de agrado, dando lugar a procesos de urbanización acelerada, especulación del suelo y fragmentación de hábitats de especies nativas, así como la privatización del acceso a bienes naturales comunes —como lagos y ríos—, en un contexto marcado por la ausencia de instrumentos normativos de ordenamiento territorial.

Si bien el la expansión turística ha dinamizado las economías rurales, también ha favorecido la pérdida de prácticas agrícolas y ganaderas tradicionales. El crecimiento desregulado del turismo, sumado al envejecimiento de la población rural, ha acentuado el retroceso de la actividad productiva a pequeña escala, poniendo en riesgo la conservación del paisaje natural y cultural de montaña que sustenta esta misma actividad.

Conflictos territoriales

Los conflictos territoriales expresan públicamente la disputa entre intereses divergentes sobre el uso y la gestión del territorio. En los Andes del sur, estos conflictos se vinculan a procesos históricos como el despojo de tierras mapuche durante la fortificación de la Araucanía y la privatización de grandes extensiones durante la dictadura militar.

Pese a los avances institucionales orientados al fortalecimiento de la institucionalidad ambiental en Chile desde la década de 1990, persisten limitaciones en la regulación de proyectos de inversión, especialmente en territorios de montaña, los cuales aún no cuentan con un reconocimiento jurídico específico como ecosistemas a proteger.

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), dependiente del Ministerio del Medio Ambiente, constituye el principal instrumento de regulación ambiental orientado a la identificación y corrección anticipada de los impactos negativos de proyectos de inversión pública y privada. No obstante, presenta limitaciones relevantes, entre las que destacan la insuficiente consideración de los impactos acumulativos derivados de la concurrencia de múltiples proyectos en un mismo territorio, la ausencia de mecanismos que impidan la fragmentación de iniciativas con el fin de eludir la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), y la limitada capacidad institucional para la fiscalización durante la fase de ejecución de los proyectos. Asimismo, se ha cuestionado la debilidad de los procesos de participación ciudadana, dado que no se exige la implementación de mecanismos efectivos de involucramiento, reduciéndose en muchos casos a instancias meramente informativas.

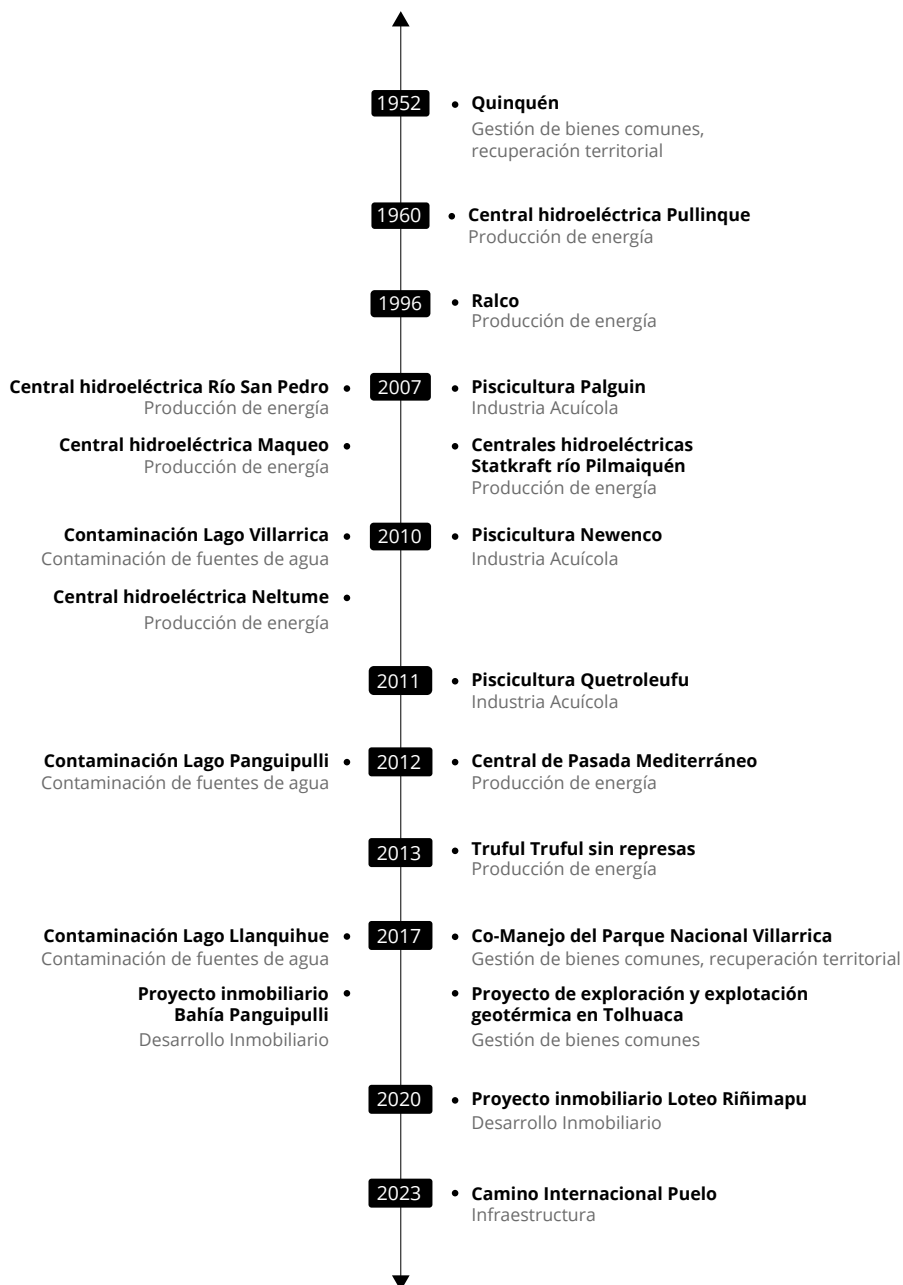
Los conflictos territoriales asociados a proyectos de inversión pública y privada en los Andes del sur se vinculan principalmente a la generación de externalidades negativas sobre la flora y fauna, la contaminación e intervención de fuentes de agua, así como a transformaciones del paisaje de montaña y a perjuicios en el desarrollo de las economías locales. En este contexto, resulta especialmente relevante la dimensión sacralizada del territorio presente en la cosmovisión mapuche, en particular el principio del *itrofill mongen*, que promueve el respeto y cuidado de todas las formas de vida en su interdependencia e integridad. La intervención o degradación de elementos fundamentales para esta cosmovisión —como ríos, volcanes y otros espacios de significación cultural y espiritual— constituye una afectación grave a la práctica religiosa y espiritual de las comunidades indígenas.

En el marco de la institucionalidad ambiental vigente, una parte significativa de los conflictos territoriales vinculados al desarrollo de proyectos de inversión en los Andes del sur se relaciona con la omisión de la consulta indígena establecida en el Convenio 169 de la OIT, así como con la elusión de la Evaluación de Impacto Ambiental por parte de proyectos de gran envergadura, pese a su magnitud y a su potencial para generar impactos significativos sobre el territorio.

Conflictos emblemáticos en los Andes del sur de Chile

El conflicto asociado a la central hidroeléctrica Ralco, desarrollado a fines de la década de 1990, constituye uno de los antecedentes de mayor relevancia en materia de conflictos territoriales a nivel nacional. Esta experiencia evidenció un profundo quiebre de confianzas en un proceso de disputa que se extendió por aproximadamente ocho años e involucró a actores privados, estatales y locales. En este contexto, destaca el rol de las hermanas Quintremán en la defensa del río Biobío y de las comunidades mapuche-pehuenche que serían relocalizadas como consecuencia del proyecto. Si bien la construcción de la represa finalizó en el año 2004, el proceso estuvo marcado por diversas irregularidades y puso en evidencia importantes brechas en la legislación ambiental e indígena vigente, así como en su aplicación efectiva.

Línea de tiempo conflictos emblemáticos



Décadas más tarde, los conflictos territoriales asociados a la producción hidroeléctrica continúan siendo los de mayor predominio en términos cuantitativos. Entre estos destaca el caso de la central Pullingue, cuya construcción data de 1960, pero que en el año 2006 dio origen a un conflicto a partir de la solicitud de ENEL para incrementar el volumen hídrico de la represa. Esta situación detonó la movilización de comunidades indígenas, que exigieron compensaciones por los impactos negativos derivados de la construcción original del embalse y rechazaron la ampliación del volumen del estanque.

De forma similar, los casos de la central hidroeléctrica Neltume, central Maqueo, central de pasada Mediterráneo, central de pasada El Rincón y la central hidroeléctrica San Pedro constituyen ejemplos de conflictos territoriales que culminaron con la declinación de los proyectos. Entre ellos, el conflicto por la central San Pedro resulta especialmente ilustrativo, debido a la prolongada trayectoria de más de doce años de movilización sostenida por parte de la comunidad local.

En contraste, se encuentran los proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas impulsados por la empresa Statkraft en el río Pilmaiquén, cuyo conflicto ha movilizó a comunidades indígenas debido a las afectaciones a sitios ceremoniales. A ello se suma la presión acumulada sobre el ecosistema fluvial, producto de la presencia previa de otras centrales hidroeléctricas y pisciculturas en el territorio.

Otro tipo relevante de conflictos territoriales en los Andes del sur se relaciona con la contaminación de fuentes de agua —ríos, humedales, lagos y fiordos—, lo que ha movilizó a comunidades locales en la demanda de acciones de descontaminación. Desde la década de 2010 se han registrado episodios críticos en lagos como Llanquihue, Panguipulli y Villarrica. Este último fue declarado zona saturada en 2017 debido al aumento de nitrógeno y fósforo, que provocó proliferación de microalgas con impactos en la salud humana y los ecosistemas. Entre las causas se identifican el cambio de uso de suelo asociado a la expansión inmobiliaria, el aumento de población y la presión sobre los sistemas sanitarios, así como emisiones de pisciculturas ubicadas aguas arriba. En este contexto, en 2025 se aprobó el plan de descontaminación de la cuenca del lago Villarrica, primera normativa del país orientada a recuperar la calidad de aguas lacustres.

En otro ámbito, en 2019 el Ministerio de Bienes Nacionales impulsó un programa de concesiones turísticas en parques nacionales, incluyendo el Parque Nacional Villarrica, emplazado en territorio ancestral mapuche-pehuenche, el cual, además de ubicarse en cercanías del volcán Rukapillán, alberga el *peweñentu*: lugar de araucarias en donde ancestralmente se ha practicado la recolección

del piñón. La falta de consulta indígena exigida por el Convenio 169 de la OIT motivó la movilización de comunidades, junto con la demanda por la protección del territorio ancestral y el manejo compartido del parque. Tras años de movilización, en 2024 se creó el Consejo de Co-gobernanza y Gestión del Parque Nacional Villarrica en el sector Puesco-Lanín, constituyendo un hito en la participación efectiva de comunidades locales e indígenas en la gestión de áreas protegidas.

En conjunto, los Andes del sur, como Laboratorio Natural, evidencian tanto avances como brechas en la institucionalidad ambiental e indígena, destacando el rol de los conflictos territoriales como motores para fortalecer la gobernanza, la articulación intersectorial y la participación comunitaria en la gestión sustentable del territorio.

Economías locales tradicionales y emergentes: agricultura familiar y turismo de base comunitaria

Así como los territorios de montaña atraen la atención de grandes economías, también conservan una profunda huella histórica asociada a las actividades productivas locales. Entre ellas, la agricultura familiar desarrollada por campesinos indígenas y no indígenas constituye una de las expresiones más representativas, a pesar de desenvolverse en contextos de bajo potencial agrícola, condiciones climáticas adversas y una topografía escarpada que limita su expansión como sector productivo convencional.

Estas prácticas se organizan mayoritariamente en economías de pequeña escala que configuran complejos agroecosistemas, en los que se expresa la transmisión intergeneracional de saberes locales. Ello se manifiesta en actividades como el cultivo de huertas y chacras, la crianza de animales, la pesca artesanal y la recolección de productos forestales no madereros, entre otras.

Desde el punto de vista productivo, destacan los cultivos de hortalizas, leguminosas y cereales, mientras que la ganadería se orienta principalmente a la crianza de equinos, bovinos, ovinos y caprinos. A su vez, la recolección de productos forestales no madereros incluye hongos silvestres, frutos, plantas ornamentales y medicinales, además de materias primas destinadas a la elaboración de artesanías.

La producción combina el autoconsumo con la comercialización de excedentes a través de distintos canales, predominando las ferias libres y la venta directa. Frente a la escasez de estos espacios, cobran relevancia las estrategias de cooperación y asociatividad entre productores y productoras, orientadas a fortalecer los mecanismos de comercialización local.



Huerta de montaña, comuna de Cochamó

Fotografía: Claudia Dauré

En este contexto, y considerando la fragilidad de los ecosistemas de montaña, adquiere especial importancia la agricultura agroecológica como enfoque productivo. Esta forma de manejo integra principios ecológicos en el diseño de sistemas agroalimentarios sostenibles, articulando el conocimiento local con las interrelaciones entre suelo, clima, vegetación y animales. Las huertas se configuran así como verdaderos refugios bioculturales para la conservación de la biodiversidad, al concentrar una amplia diversidad de cultivos, flores, hierbas medicinales y árboles con fines alimentarios, medicinales y ornamentales. Un elemento central de este sistema es el uso y resguardo de semillas tradicionales, práctica de profundo valor técnico, cultural y espiritual que contribuye a la conservación del patrimonio genético y al fortalecimiento de la soberanía alimentaria.

Huerta de montaña



Complementariamente, el turismo de base comunitaria (TBC) emerge como una alternativa económica gestionada por las propias comunidades —especialmente las indígenas—, que pone en valor el patrimonio cultural y natural, ofreciendo experiencias vinculadas al modo de vida rural. Más que una actividad económica, el TBC representa una respuesta al turismo invasivo, permitiendo articular belleza escénica, conservación, identidad cultural y desarrollo local.



CAPÍTULO 10

El futuro de los Andes del sur de Chile

Proyecciones y desafíos del Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile

En un mundo en constante transformación, los Andes del sur de Chile se configuran como un territorio estratégico para comprender los desafíos asociados al **cambio global**. En este contexto, el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile (LNADS) proyecta su quehacer y aprendizajes hacia los futuros posibles de la montaña, posicionándose como un espacio clave para articular **conocimiento científico, saberes territoriales y acciones de gestión orientadas a la sostenibilidad**.

Aprendizajes desde la montaña

El Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile ha contribuido a visibilizar la complejidad de un territorio donde confluyen procesos geológicos, ecológicos y socioculturales de carácter singular. En esta extensa geografía de montañas, fiordos, bosques templados y volcanes activos, la vida humana se entrelaza de manera profunda con las dinámicas naturales, conformando un sistema vivo que se transforma en interacción permanente con quienes lo habitan.

Más que un objeto de estudio, la montaña se revela como un sujeto de conocimiento: un espacio que enseña, conecta y desafía. Desde esta comprensión, el LNADS ha promovido una mirada sistémica del territorio, integrando las geociencias, la ecología, las ciencias sociales, las artes y las humanidades, con el propósito de comprender los procesos del cambio global y sus impactos en los ecosistemas y comunidades de montaña.

Uno de los principales aportes del Laboratorio Natural ha sido el fortalecimiento del vínculo entre ciencia, territorio y gestión. La generación de conocimiento científico, traducida en herramientas de planificación, conservación y educación, se constituye como una base fundamental para la toma de decisiones informadas. Las singularidades ecológicas y culturales de los Andes del sur evidencian su valor estratégico y la urgencia de su resguardo frente a las presiones del cambio climático, la expansión de actividades productivas y la creciente intervención humana.

La montaña enseña, además, que no existe un futuro ni un modelo de desarrollo viable sin equilibrio. En este sentido, las comunidades locales e indígenas, a través de sus conocimientos ancestrales y de una relación histórica de respeto con el territorio, aportan perspectivas indispensables para comprender la montaña como un patrimonio biocultural. El reconocimiento y la valorización de estas prácticas amplían la noción de sostenibilidad y permiten comprender los vínculos que sostienen la vida en la cordillera.

Desde esta trayectoria, el Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile se proyecta como una plataforma abierta de investigación, cooperación y formación, orientada a articular distintas escalas —local, regional y global— para abordar los desafíos ambientales y sociales contemporáneos. Entre sus prioridades se encuentran la consolidación de una red permanente de observación y monitoreo, el fomento de investigaciones interdisciplinarias, el fortalecimiento de capacidades locales y la promoción de alianzas entre instituciones públicas, universidades, comunidades y organismos internacionales.

En un país altamente centralizado como Chile, resulta especialmente relevante fortalecer procesos formativos con enfoques inter- y transdisciplinarios, ampliando los esfuerzos de integración entre disciplinas para abordar la complejidad de los territorios de montaña. Las iniciativas impulsadas por el LNADS contribuyen a una agenda transformadora que articula tres dimensiones complementarias: en el ámbito científico, fortalecen la generación de datos abiertos, las capacidades regionales y la cooperación interdisciplinaria; en el plano social, promueven la participación ciudadana, la valorización del conocimiento local y la apropiación territorial de la ciencia; y en la dimensión política, aportan evidencia para la formulación de políticas públicas adaptativas y con enfoque descentralizado.

El presente y futuro del LNADS Chile, así como de los territorios de montaña en general, dependerán en gran medida de la capacidad de incorporar perspectivas interculturales en las agendas de investigación (Ibarra et al., 2023). Los saberes mapuche-pehuenche y huilliche, junto a los conocimientos

campesinos y de organizaciones locales, resultan fundamentales para enriquecer la producción científica, fortalecer la resiliencia territorial y legitimar la agenda de montaña tanto en contextos locales como globales.

Fortalecer estas iniciativas implica también avanzar en la descentralización de la investigación, reconociendo a las universidades y centros regionales como actores clave en la producción de conocimiento. Esto permitirá diversificar las miradas, promover la equidad territorial y construir una ciencia más conectada con los lugares donde ocurren los procesos que busca comprender. En este sentido, las políticas públicas orientadas a la investigación e innovación regional constituyen un avance relevante hacia una ciencia territorialmente distribuida y socialmente pertinente.

Los Andes del sur de Chile son mucho más que un relieve geográfico: constituyen un laboratorio natural de escala mundial donde se entrelazan las historias de la Tierra y de las personas. En un contexto marcado por la crisis climática y la pérdida de biodiversidad, este territorio se erige como una oportunidad para repensar las relaciones entre conocimiento, comunidad y territorio.

El Laboratorio Natural Andes del Sur invita, finalmente, a mirar la montaña como una maestra: a aprender de su geología, de sus bosques, de sus aguas y de quienes la habitan. Desde esa escucha profunda emergen futuros andinos diversos, posibles y compartidos, que inspiran a seguir explorando, cuidando y habitando de manera sostenible uno de los territorios más singulares del planeta.



Laguna Captrén,
Parque Nacional Conguillío
Fotografía: Carmen Mariqueo



GLOSARIO

Bioindicador: Organismo cuya presencia, ausencia o abundancia permite evaluar el estado de salud de un ecosistema (por ejemplo, ciertos insectos indican buena calidad del agua).

Bosque templado: Ecosistema forestal caracterizado por especies arbóreas adaptadas a climas fríos y lluviosos, como los bosques de coigüe y araucaria.

Caudal ecológico mínimo: Cantidad de agua que debe mantenerse en un río para resguardar el funcionamiento y la integridad de su ecosistema.

Ciclo hidrológico: Proceso continuo de circulación del agua entre la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos.

Cono parásito: Cono volcánico secundario que se forma en los flancos de un volcán principal.

Corteza: Capa externa y más delgada de la Tierra sólida.

Cuenca hidrográfica: Territorio donde las aguas superficiales y subterráneas drenan hacia un mismo río, lago o mar.

Dendrocronología: Disciplina que estudia los anillos de crecimiento de los árboles para determinar su edad y reconstruir eventos climáticos del pasado.

Derechos de agua consuntivos: Derechos que implican el consumo total o parcial del agua extraída, reduciendo la cantidad disponible en el cuerpo de agua original o alterando su estado.

Derechos de agua no consuntivos: Derechos que permiten el uso del agua sin consumirla, obligando a su restitución en igual cantidad, calidad y oportunidad.

Domo volcánico: Estructura formada por la extrusión de magma muy viscoso que fluye lentamente o se acumula cerca del punto de emisión, pudiendo alcanzar cientos de metros de altura y algunos kilómetros de diámetro basal.

Dorsal oceánica: Cordillera submarina alargada ubicada en el fondo oceánico, asociada a bordes de placas divergentes, con anchos que varían entre 500 y 5.000 km.

Dosel: Estrato superior del bosque formado por las copas de los árboles más altos.

Endémico: Especie que existe de manera exclusiva en una región geográfica determinada (por ejemplo, el monito del monte en Chile).

Entalpía: Magnitud termodinámica que expresa la energía intercambiada por un sistema con su entorno a presión constante.

Erosión: Proceso de desgaste y pérdida de suelo causado por el viento, el agua o actividades humanas.

Erupción efusiva: Tipo de actividad volcánica de baja explosividad, dominada por la emisión de lavas o la formación de domos.

Erupción explosiva: Actividad volcánica de alta explosividad caracterizada por la expulsión violenta de material piroclástico y gases.

Erupción riolítica: Erupción volcánica asociada a magmas ricos en sílice, generalmente de carácter explosivo.

Escoria: Material volcánico vesicular generado a partir de magma basáltico.

Especies pioneras: Plantas que colonizan los primeros suelos recién formados o degradados (por ejemplo, chaura y murta).

Estaciones pluviométricas: Instrumentos destinados a medir la cantidad de precipitación en un área determinada.

Eutrofización: Proceso de enriquecimiento excesivo de nutrientes en cuerpos de agua, que provoca proliferación de algas y deterioro de la calidad del ecosistema.

Falla de rumbo: Falla geológica en la que el desplazamiento relativo de los bloques es principalmente horizontal.

Falla geológica: Plano de fractura en una masa rocosa a lo largo del cual ocurre desplazamiento.

Falla inversa: Falla en la que el bloque superior se desplaza hacia arriba respecto del bloque inferior.

Falla normal: Falla en la que el bloque superior desciende respecto del bloque inferior.

Flujo de detritos: Mezcla fluida de suelo, roca y agua que se desplaza ladera abajo, frecuente en zonas montañosas semiáridas y laderas volcánicas.

Flujo piroclástico: Corriente densa y caliente de gases y piroclastos que se desplaza por gravedad por las laderas de un volcán y principalmente a lo largo de depresiones topográficas. Se caracteriza por alcanzar elevadas temperaturas (hasta 700°C) y altas velocidades (hasta 500 km/h), lo que la convierte en un fenómeno extremadamente destructivo.

Funciones ecosistémicas: Procesos naturales que ocurren en los ecosistemas y que sostienen la vida, incluyendo beneficios directos e indirectos para las personas.

Fütalmapu: Grandes identidades territoriales que estructuran el *Wallmapu*.

Gelifracción: Fragmentación de rocas causada por la congelación y expansión del agua en sus grietas.

Geotermia: Energía asociada al calor interno de la Tierra, presente en toda la corteza terrestre. El gradiente geotérmico promedio es de aproximadamente 30 °C por kilómetro de profundidad.

Glaciares: Grandes masas de hielo de agua dulce de carácter permanente que se forman en zonas de montaña, distintas de la nieve estacional. Su derretimiento y movimiento natural son lentos, aunque en las últimas décadas estos procesos se han acelerado debido al cambio climático.

Ngulumapu: Término mapuche que proviene de *gulu*, que significa 'oeste', y *mapu*, 'tierra'. Designa la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, correspondiente al actual territorio chileno.

Hidrólisis: Reacción química entre minerales y agua que altera su composición, como ocurre en la formación de arcillas.

Horizontes del suelo: Capas diferenciadas del suelo observables en un perfil vertical.

Índice de Explosividad Volcánica (IEV o VEI): Escala que estima la magnitud de una erupción volcánica según el volumen emitido y la altura de la columna eruptiva. Se estructura sobre la base de una escala empírica de 8 grados donde el volumen crece exponencialmente.

Itrofil Mongen: Concepto mapuche que viene de *itrofil*, que significa 'de todo tipo y sin excepción', y *mongen*, 'vida'. Principio que reconoce la interdependencia e integridad de todas las formas de vida, desde una visión espiritual, natural y material.

Lafkenche: Término mapuche que proviene de *lafken*, 'mar' o 'espejo', y de *che*, 'gente'. Pueblo mapuche que habita los territorios costeros del *Wallmapu*.

Lahar: Flujo peligroso compuesto por lodo y escombros volcánicos, asociado a erupciones, que desciende con gran capacidad destructiva.

Lava: Magma que alcanza la superficie terrestre.

Ley de Colonización y Terrenos Baldíos: Ley promulgada en 1845 que reguló la colonización europea del sur de Chile.

Lofmapu: Unidad territorial mapuche donde habitan diferentes comunidades y familias.

Magma: Roca fundida en profundidad que contiene gases disueltos y cristales.

Manto: Capa intermedia de la Tierra, compuesta mayoritariamente por rocas sólidas, que se extiende desde la base de la corteza hasta aproximadamente 2.900 km de profundidad.

Meteorización: Conjunto de procesos naturales que desintegran y alteran las rocas para formar suelo.

Meteorización física: Fragmentación mecánica de las rocas sin cambios químicos (ej.: gelifracción, termoclastia).

Meteorización química: Alteración química de las rocas mediante reacciones con agua, oxígeno y otros elementos.

Micorrizas: Asociación simbiótica entre hongos y raíces de plantas que ayuda al transporte y absorción de nutrientes.

Monumento Histórico Nacional: Bien mueble o inmueble de propiedad fiscal, municipal o particular, protegido por su valor histórico, artístico o patrimonial.

Núcleo: Capa más interna de la Tierra. Se cree que es en gran parte una aleación de hierro y níquel con cantidades menores de oxígeno, silicio y azufre.

Oligotrófico: Cuerpo de agua con baja concentración de nutrientes y alta transparencia.

Oxidación: Reacción química entre minerales y oxígeno que modifica su estructura y color.

Paisaje biocultural: Territorio habitado cuya delimitación resulta de las interacciones históricas entre comunidades humanas y sus ecosistemas. Se comprende desde una perspectiva relacional, dinámica y temporal, en la que creencias, conocimientos, saberes y prácticas se entrelazan y se proyectan en el tiempo, configurando conciencias históricas comunitarias.

Peligro geológico: Proceso o evento natural potencialmente dañino, generado por la dinámica interna o superficial del planeta, que puede afectar a personas, infraestructura y ecosistemas.

Pewenche: Término mapuche que proviene de *pewen*, 'árbol de piñón' (*Araucaria araucana*), y de *che*, 'gente'. Pueblo que habita los territorios andinos del sur de Chile y Argentina.

Pikunmapu: Término mapuche que proviene de *pikun*, 'norte', y *mapu*, 'tierra'. Orientación norte del *Wallmapu*, territorio ancestral mapuche.

Pire Mawiza: Nombre mapuche de la cordillera de los Andes.

Piroclasto: Fragmento de material volcánico expulsado de forma violenta durante una erupción. De acuerdo a su tamaño, se clasifican en bloques o bombas (>64 mm de diámetro), lapilli (entre 2 y 64 mm) y ceniza (menor a 2 mm).

Puelmapu: Término mapuche que proviene de *puel* 'este', y *mapu*, 'tierra'. Vertiente oriental de la cordillera de los Andes, correspondiente al actual territorio argentino.

Red SIPAN: Iniciativa destinada al reconocimiento, protección y valorización de los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Nacional de Chile, con el fin de conservar la agrobiodiversidad, las tradiciones y el conocimiento local.

Remoción en masa: Procesos de movilización, lenta o rápida, de volúmenes variables de suelo, roca o una combinación de ambos, que se desplazan cuesta abajo principalmente por la acción de la gravedad.

Reserva de la Biósfera: Área designada por UNESCO cuyo objetivo es conciliar la conservación de la naturaleza con el desarrollo económico y humano de manera sostenible. Estos espacios aportan soluciones locales a problemáticas globales y se sustentan en tres pilares: conservación de la diversidad biológica y cultural; desarrollo económico sostenible; y respaldo científico, educación y formación.

Resiliencia: Capacidad de un ecosistema para recuperarse tras perturbaciones.

Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM): Reconocimiento otorgado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) a agroecosistemas singulares, habitados por comunidades que mantienen una relación estrecha y compleja con su territorio. Estos sistemas se distinguen por su agrobiodiversidad, conocimientos tradicionales, culturas y paisajes de alto valor, gestionados de manera sostenible por las propias comunidades locales.

Sotobosque: Conjunto de vegetación baja, como arbustos y helechos, que crece bajo el dosel del bosque.

Suelo volcánico (andisoles: ñadis y trumaos): Suelos fértiles formados a partir de lava o cenizas volcánicas.

Tefra: Cualquier material sólido expulsado por un volcán durante una erupción explosiva, incluyendo ceniza, lapilli, y bombas piroclásticas.

Termoclastia: Fractura de rocas por cambios bruscos de temperatura.

Torre de agua: Sistema natural que almacena y distribuye agua (cordilleras, glaciares).

Transfronterizo: Que atraviesa o conecta territorios de distintos países, como los ríos compartidos entre Chile y Argentina.

Trashumancia: Práctica ganadera sustentada en el conocimiento local, que consiste en el desplazamiento estacional del ganado hacia zonas altas de pastoreo durante el verano y su retorno a áreas bajas en invierno.

Wallmapu: Término mapuche que proviene de *wall*, que significa 'alrededor de', y *mapu*, 'tierra'. Corresponde al territorio ancestral mapuche estructurado en cuatro orientaciones (*Meli Wixan Mapu*).

Wampo: Embarcación mapuche tradicional tallada en troncos de árboles de ulmo, coigüe, laurel o raulí.

Willimapu: Término mapuche que proviene de *willi*, que significa 'sur', y *mapu*, 'tierra'. Orientación sur del *Wallmapu*, territorio ancestral mapuche.

The background of the page is a dark, monochromatic aerial photograph. It shows a wide river or lake meandering through a dense, forested valley. In the distance, a range of mountains is visible under a cloudy sky. The overall tone is somber and naturalistic.

REFERENCIAS

- Alfaro, K. (2016). Acumulación por desposesión en Chile: El caso del Complejo Forestal y Maderero Panguipulli en el sur de Chile (1973–1990). *Historia* 396, 6(2), 229–255.
- Alvarado, R. G., Trebilcock, M., & Ascui, H. (2007). Experiencing the flows of nature. *Open House International*, 32(4).
- Amigo, Á. (2021). Volcano monitoring and hazard assessments in Chile. *Volcanica*, 4(S1), 1–20.
- Andrade-Medina, L., & Pilquimán-Vera, M. (2020). Perceptions on intangible heritage and tourism: Actors and experiences in pre-cordilleran areas, Panguipulli, Los Ríos Region, Chile. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 16(2), 164–176.
- Araya, C., Cisternas, M., & González, F. (2014). Evolución morfológica del principal deslizamiento del Riñihual generated por el terremoto de 1960. En *VIII Simposio Latinoamericano de Geografía Física y IV Simposio Iberoamericano de Geografía Física*.
- Astudillo-Sotomayor, L., Jara-Muñoz, J., Melnick, D., Cortés-Aranda, J., Tassara, A., & Strecker, M. R. (2021). Fast Holocene slip and localized strain along the Liquiñe-Ofqui strike-slip fault system, Chile. *Scientific Reports*, 11(1), 5970.
- Baeza, B. (2011). Pioneros y extranjeros en la frontera de Patagonia central chileno-argentina: El caso de Trevelin (Argentina) y Futaleufú (Chile). *Si Somos Americanos*, 11(1), 41–62.
- Barrena Ruiz, J., Hernando Arrese, M., & Rojas Marchini, F. (2016). Antecedentes históricos sobre el Complejo Forestal y Maderero Panguipulli, provincia de Valdivia, centro-sur de Chile. *Bosque*, 37(3), 473–484.
- Bello, Á. (2014). Cordillera, naturaleza y territorialidades simbólicas entre los mapuche del siglo XIX. *Scripta Philosophiae Naturalis*, 6, 21–33.
- Bertin, L., Moreno, H., Becerril, L., Calderón, R., Figueroa, M., Gho, R., & Flores, F. (2018). *Mapa de peligro del Grupo Volcánico Carrán-Los Venados*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Bustos, B., Délano, J., & Prieto, M. (2019). “Chilote tipo salmón”: Relaciones entre como-dificación de la naturaleza y procesos de producción identitaria. El caso de la región de Los Lagos y la industria salmonera. *Estudios Atacameños*, (63).
- Bustos Gallardo, B., Prieto, M., & Bustos, J. (2015). *Ecología política en Chile: Poder, naturaleza, conocimiento y propiedad*. Editorial Universitaria.
- Casertano, L. (1963). General characteristics of active Andean volcanoes and a summary of their activities during recent centuries. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 1415–1433.
- Cembrano, J., & Lara, L. (2009). The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*, 471(1–2), 96–113.

Correa, M. (2021). *La historia del despojo: El origen de la propiedad particular en el territorio mapuche*. Ceibo Ediciones / Pehuén.

Correa-Parra, J., Vergara-Perucich, J. F., & Aguirre-Nuñez, C. (2020). Water privatization and inequality: Gini coefficient for water resources in Chile. *Water*, 12(1), 1–18.

Cortés, J., Ugalde, I., Caviedes, J., & Ibarra, J. T. (2019). Semillas de montaña: Recolección, usos y comercialización del piñón de la araucaria (*Araucaria araucana*) por comunidades mapuche-pewenche del sur de los Andes. *Pirineos*, 174, e048.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27–29.

Davies, G. (2019). La resistencia de la ganadería: Los pehuenches en la economía regional de Cuyo y la cordillera (1840–1870). *Historia*, 52(2), 341–372.

Davis, S., & Karzulovic, J. K. (1961). Deslizamientos en el valle del río San Pedro, Provincia de Valdivia, Chile. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*.

Díaz, C., et al. (2023). The impact of local and climate change drivers on Southern Pacific coastal systems. *Science of the Total Environment*, 865, 161288.

FAO. (2012). *Mountain development and protection*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fernández Mariscal, C., & Arenas Abarca, M. (2002). *El flujo de detritos del 3 de mayo de 2002: Caleta Buill, comuna de Chaitén, X Región: A una semana del desastre*.

Franco, L., Palma, J. L., Lara, L. E., Gil-Cruz, F., Cardona, C., Basualto, D., & San Martín, J. (2019). Eruptive sequence and seismic activity of Llaima volcano (Chile) during the 2007–2009 eruptive period: Inferences of the magmatic feeding system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 379, 90–105.

Freddi, A. (2022). “En la pampa todos somos gauchos...”: Etnografía del arreo en la frontera de la Norpatagonia. *CUHSO*, 32(1), 419–446.

Goff, F., & Janik, C. J. (2000). *Geothermal chemistry, exploration and reservoir processes*. Federal Geothermal Research Program.

Godoy, M. (2014). Las rutas del Sollipulli hacia el Puel Mapu. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (27), 45–69.

González, S., Escalona, M., & Muñoz, F. (2021). Actores e intereses en disputa por el uso del borde costero de la región de Los Lagos, sur de Chile. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (41), 113–131.

González-Vidal, D., et al. (2022). The hiccup of Villarrica volcano, Chile, during the COVID-19 lockdown. *Geophysical Journal International*.

Guzmán Marín, P. I. (2015). *Control tectónico de la evolución del paisaje cuaternario en la cuenca de intra-arco del lago Maihue, Andes del sur, Región de Los Ríos, Chile* [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción].

Gupta, H. K., & Roy, S. (2006). *Geothermal energy: An alternative resource for the 21st century*. Elsevier.

Hauser, A. (1991). Hans Steffen, precursor del concepto falla Liquiñe-Ofqui. *Andean Geology*, 18(2), 177–179.

Hauser, A. (1993). *Remociones en masa en Chile* (Boletín N.º 45, pp. 7–29). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Hauser, A. (1997). *Catastro y caracterización de las fuentes minerales y termales de Chile* (Boletín N.º 50). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Herrmann, T. M. (2005). Knowledge, values, uses and management of the *Araucaria araucana* forest by the indigenous Mapuche Pewenche people: A basis for collaborative natural resource management in southern Chile. *Natural Resources Forum*, 29(2), 120–134.

Herrmann, T. M. (2006). Indigenous knowledge and management of *Araucaria araucana* forest in the Chilean Andes: Implications for native forest conservation. *Biodiversity & Conservation*, 15, 647–662.

Hervé, F., Araya, E., Fuenzalida, J., & Solano, A. (1979). Edades radiométricas y tectónica neógena en el sector costero de Chiloé Continental, X Región.

Hidalgo, R., Robles, M. S., & Alvarado, V. (2022). Neoliberal lakeside residentialism: Real estate development and the sustainable utopia in environmentally fragile areas. *Land*, 11(8), 1309.

Hora, B. (2018). Private protection initiatives in mountain areas of southern Chile and their perceived impact on local development: The case of Pumalín Park. *Sustainability*, 10(5), 1584.

Ibarra, J. T., Barreau, A., Caviedes, J., Pessa, N., & Urra, R. (2019). Huertas familiares tradicionales y emergentes: Biodiversidad, aprendizaje y soberanía desde la interculturalidad. En J. T. Ibarra, J. Caviedes, A. Barreau, & N. Pessa (Eds.), *Huertas familiares y comunitarias: Cultivando soberanía alimentaria* (pp. 139–166). Ediciones Universidad Católica de Chile.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Altamirano, T. A., Urra, R., Barreau, A., & Santana, F. (2021). Socio-ecological filters drive the functional diversity of beetles in homegardens of campesinos and migrants in the southern Andes. *Scientific Reports*, 11, 12462.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Barreau, A., Pessa, N., Valenzuela, J., Navarro-Manquelef, S., & Pizarro, J. (2022). Escuchando a los abuelos: Transdisciplina, aves y gente para cultivar la memoria biocultural. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 20(3), 1–22.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., & Marchant, C. (2022). Sustainability for Chile's mountains: A united approach. *Nature*, 605, 620.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Marchant, C., Mathez-Stiefel, S., & Sarmiento, F. (2023). Mountain resilience requires transdisciplinarity and participation of Indigenous Peoples and Local Communities. *Trends in Ecology & Evolution*.

Ibarra Mendoza, C. V., Vargas Payera, S., & Morata Céspedes, D. A. (2022). *Geotermin en Chile: Un siglo de historia para un desarrollo sustentable*.

Julián-Vejar, D., Pantel, B., & Ponce, C. (2021). Cuestionamientos al modelo extractivista neoliberal desde el sur. En *Cuestionamientos al modelo extractivista neoliberal desde el sur: Capitalismo, territorios y resistencias* (pp. 217–239). Ariadna Ediciones.

Kaulen-Luks, S., Marchant, C., & Ibarra, J. T. (2022). Biocultural heritage construction and community-based tourism in an Important Indigenous Agricultural Heritage System of the southern Andes. *International Journal of Heritage Studies*, 28(10), 1087–1105.

Lacoste, P. (2020). Mapas territoriales e imagen del país vecino: El caso de la Argentina y Chile. En S. Bandieri (Ed.), *Cruzando la cordillera... La frontera argentino-chilena como espacio social* (pp. 301–369). Editorial Universidad de Los Lagos.

Lara, L. E. (2004). Overview of Villarrica volcano. En *Villarrica volcano (39.5° S), Southern Andes, Chile* (pp. 5–12). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Lara, L.E; Orozco, G.; Amigo, A.; Silva, C. (2011). *Peligros Volcánicos de Chile Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental*, No.13, 26 p., 1 mapa escala 1:2.000.000. Santiago.

Lara, L. E., Amigo, Á., Silva, C., Orozco, G., & Bertin, D. (2012, agosto). La erupción 2011–2012 del Cordón Caulle: Antecedentes generales y rasgos notables de una erupción en curso. En *Actas XIII Congreso Geológico Chileno* (pp. 531–533).

Lara, L. E., & Calderón, R. (2015). Peligro y riesgo específico asociado al volcán Chaitén: Perspectiva geológica de la vulnerabilidad en el entorno de un volcán activo. *Magallania*, 43(3), 27–35.

Lara, L. E., & Clavero, J. (2004). *Villarrica volcano (39.5° S), Southern Andes, Chile* (pp. 13–16). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Lara, L. E., Orozco, G., & Piña-Gauthier, M. (2012). The 1835 AD fissure eruption at Osorno volcano, Southern Andes: Tectonic control by the intra-arc stress field instead of remote megathrust-related dynamic strain. *Tectonophysics*, 530, 102–110.

Legrand, D., Barrientos, S., Bataille, K., Cembrano, J., & Pavez, A. (2011). The fluid-driven tectonic swarm of Aysén Fjord, Chile (2007), associated with two earthquakes (Mw 6.1 and Mw 6.2) within the Liquiñe-Ofqui Fault Zone. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 154–161.

Lois, C. (2010). Las evidencias, lo evidente y lo visible: El uso de dispositivos visuales en la argumentación diplomática argentina sobre la Cordillera de los Andes (1900) como frontera natural. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 70, 7–29.

- Maldonado, V., Contreras, M., & Melnick, D. (2021). A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1:25,000 scale. *Scientific Data*, 8(1), 20.
- Major, J. J., & Lara, L. E. (2013). Overview of Chaitén Volcano, Chile, and its 2008–2009 eruption. *Andean Geology*, 40(2), 196–215.
- Mandujano, F., Rodríguez, J. C., Reyes, S. E., & Medina, P. (2015). La erupción del volcán Chaitén: Voyeurismo, desconfianza, academia y Estado. Repercusiones urbanas y sociales en la comunidad. *Universum*, 30(2), 153–177.
- Mancilla Ivaca, N., & Silva Hidalgo, R. (2021). Despojo territorial y memorias colectivas de comunidades del Coformap en la precordillera de la región de Los Ríos, Chile. *Clepsidra. Revista Interdisciplinaria de Estudios sobre Memoria*, 8(15), 68–85.
- Marchant, C. (2012). *Los Andes chilenos en tiempos del cambio global: Desafíos y oportunidades para la sustentabilidad de comunas de montaña* [Tesis doctoral, Leopold-Franzens Universität Innsbruck].
- Marchant, C. (2019). La práctica trashumante pehuenche en la Araucanía andina: Una forma de construir y habitar los territorios de montaña del sur de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (74), 187–206.
- Marchant, C., Acuña, N. R. F., Luks, S. K., & Ibarra, J. T. (2020). Saberes locales en huertas de montaña del sur de los Andes: Un refugio de memoria biocultural mapuche pewenche. *Pirineos*, 175, e060.
- Marchant, C., & Rojas, F. (2015). Transformaciones locales y nuevas funcionalidades económicas vinculadas a las migraciones por amenidad en la Patagonia chilena: El caso de Malalcahuello, una villa de montaña. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 103(3).
- Melin, M., Mansilla, P., & Royo, M. (2017). *Mapu Chillkantukun Zugu: Descolonizando el mapa del Wallmapu, construyendo cartografía cultural en territorio mapuche* (Serie Mapuche Kimün). Pu Lof Editores.
- Messerli, B., & Ives, J. D. (1999). *Mountains of the world: A global priority*. Parthenon.
- Moulian, R., & Espinoza, P. (2018). Impronta andina entre los Kamaskos del Wenuleufu. An Andean imprint among the Kamaskos of Wenuleufu. *Alonso*, 312, 211–230.
- Moreno, H., & Gardeweg, M. C. (1989). La erupción reciente en el complejo volcánico Lonquimay (diciembre 1988), Andes del Sur. *Andean Geology*, 16(1), 93–117.
- Moreno, H., & Lara, L. (2007). *Geología del complejo volcánico Mocho-Choshuencho, Región de Los Ríos*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Mora, C., Comte, D., Russo, R., Gallego, A., & Mocanu, V. (2010). Aysén seismic swarm (January 2007) in southern Chile: Analysis using joint hypocenter determination. *Journal of Seismology*, 14(4), 683–691.

Munita, D., Adán, L., & Mera, C. R. (2010). Prospecciones arqueológicas terrestres en áreas lacustres piemontanas, cordilleranas y pampeanas del centro sur chileno. *Magallania*, 38(1), 247–268.

Muñoz-Morandé, M., Möller, P., & Muñoz-Pedrerros, A. (2013). Patrimonio arqueológico e histórico asociado a un humedal lacustre, el Lago Ranco, en la Región de Los Ríos, sur de Chile. *Gestión Ambiental*, 26, 5–30.

Núñez, A. (2013). La frontera no deja ver la montaña: Invisibilización de la cordillera de Los Andes en la Norpatagonia chileno-argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55, 89–108.

Núñez, A. (2014). Imaginarios geográficos y frontera en Chile: La construcción social de la cordillera de Los Andes. En A. Borsdorf, R. Sánchez, R. Hidalgo, & H. Zunino (Eds.), *Los riesgos traen oportunidades: Transformaciones globales en los Andes sudamericanos* (pp. 127–140). Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile / Universidad de La Frontera / Academia de Ciencias Austriaca / Universidad de Innsbruck.

Pacheco, G., & Henríquez, C. (2016). El turismo de base comunitaria y los procesos de gobernanza en la comuna de Panguipulli, sur de Chile. *Gestión Turística*, 25, 42–62.

Pallister, J. S., Diefenbach, A. K., Burton, W. C., Muñoz, J., Griswold, J. P., Lara, L. E., & Valenzuela, C. E. (2013). The Chaitén rhyolite lava dome: Eruption sequence, lava dome volumes, rapid effusion rates and source of the rhyolite magma. *Andean Geology*, 40(2), 277–294.

Pantel, B., Julián-Vejar, D., & Ponce, C. (2021). Cuestionamientos al modelo extractivista neoliberal desde el sur. En C. Alistar, X. Cuadra, D. Julián-Vejar, B. Pantel, & C. Ponce (Eds.), *Cuestionamientos al modelo extractivista neoliberal desde el sur: Capitalismo, territorios y resistencias* (pp. 217–239). Ariadna Ediciones.

Pavez, A., et al. (2023). Magma storage and transfer in the Villarrica volcanic complex, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.

Payera, S. V. (2018). Understanding social acceptance of geothermal energy: Case study for Araucanía Region, Chile. *Geothermics*, 72, 138–144.

Peredo Parada, S., Barrera, C., Burbi, S., & Rocha, D. (2020). Agroforestry in the Andean Araucanía: An experience of agroecological transition with women from Cherquén in Southern Chile. *Sustainability*, 12(24), 10401.

Pérez-Flores, P., Veloso, E., Cembrano, J., Sánchez-Alfaro, P., Lizama, M., & Arancibia, G. (2017). Fracture network, fluid pathways and paleostress at the Tolhuaca geothermal field. *Journal of Structural Geology*, 96, 134–148.

Pilquimán Vera, M. (2016). El turismo comunitario como una estrategia de supervivencia: Resistencia y reivindicación cultural indígena de comunidades mapuche en la Región de Los Ríos (Chile). *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 25, 439–459.

Pinto, J. (2003). *La formación del Estado y la nación, y el pueblo mapuche: De la inclusión a la exclusión*. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM).

Poblete-González, C., Grelet, T., Tardani, D., Pinti, D., Sanchez-Alfaro, P., Álvarez-Amado, F., Tassara, S., Robidoux, P., Pérez-Flores, P., Aron, F., Berlo, K., & Taussi, M. (2025). Volcano-tectonic controls on magma residence time in arc crusts: Insights from noble gas geochemistry in the Andean Southern Volcanic Zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 661, 119352.

Rivas, S., Sanchez-Alfaro, P., Alvarez-Amado, F., Perez-Fodich, A., Godfrey, L., Becerra, P., Mathur, R., ... (2024). Water-rock interaction and magmatic contribution in thermal fluids of the Southern Volcanic Zone, Chile: Insights from Li, B and Sr isotopes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 453, 108149.

Rodríguez-Díaz, P., Marchant, C., Oyarzo, C., & Ibarra, J. T. (2025). Social-ecological vulnerability of small-scale farming in the southern Andes: The role of Indigenous and Local Ecological Knowledge in adaptation to climate variability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9.

Romero, J. E., Mella, M., Swanson, F., Crisafulli, C., Jones, J., González, M., & Reckziebel, F. (2017). *La erupción del volcán Calbuco en 2015: Volcanología, sociedad y ecosistemas*. Centro de Investigación y Divulgación de Volcanes de Chile.

Romero, J. E., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M., & Perugini, D. (2016). Eruption dynamics of the 22–23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 317, 15–29.

Romero-Toledo, H., Castro, F., & García, Y. (2018). Agua, extractivismo y etno-territorialidades: Los aymara y los mapuche en Chile. En A. Ulloa & H. Romero-Toledo (Eds.), *Agua y disputas territoriales en Chile y Colombia* (pp. 57–84). Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez-Alfaro, P., Sielfeld, G., Van Campen, B., Dobson, P., Fuentes, V., Reed, A., ... Morata, D. (2015). Geothermal barriers, policies and economics in Chile: Lessons for the Andes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1390–1401.

Sánchez-Alfaro, P., Tardani, D., Flores, P. P., Aron, F., Alvarez-Amado, F., Becerra, P., ... Muñoz-Saez, C. (2023). Optimal geologic conditions for metal-rich hydrothermal systems in the Andes: Insights from the Sollipulli and Cordon Caulle volcanic fields. En *Goldschmidt 2023 Conference*.

Scheiter, S., et al. (2021). The 21st century fate of the Mocho-Choshuencho ice field. *The Cryosphere*, 15(8), 3637–3656.

Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J. (Eds.). (2015). *The encyclopedia of volcanoes* (2nd ed.). Elsevier.

SIPAN. (2023a). *Proyecto establecimiento de una red de sitios SIPAN: Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Nacional*.

SIPAN. (2023b). *Red de Patrimonio Agrícola Nacional: Territorio Cordillera Pewenche*.

Skewes, J. C., Solari, M. E., Guerra, D., & Jalabert, D. (2012). Los paisajes del agua: Naturaleza e identidad en la cuenca del río Valdivia. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 44(2), 299–312.

Sparks, R. S. J., Biggs, J., & Neuberg, J. W. (2012). Monitoring volcanoes. *Science*, 335(6074), 1310–1311.

Stern, C. R. (2004). Active Andean volcanism: Its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31(2), 161–206.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2019). *Estudio actualización de variables: Identificación de localidades en condición de aislamiento*.

Tardani, D., Reich, M., Roulleau, E., Takahata, N., Sano, Y., Pérez-Flores, P., ... Arancibia, G. (2016). Exploring the structural controls on helium, nitrogen and carbon isotope signatures in hydrothermal fluids along an intra-arc fault system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 184, 193–211.

Tilley, D. (2016). Serpientes, espíritus y hombres: El relato mapuche de Treng-Treng y Kay-Kay. *TRIM*, 10, 23–34.

Tosso, J. (1985). *Suelos volcánicos de Chile* (1.ª ed.). Santiago, Chile.

Tovar, C., et al. (2022). Understanding climate change impacts on biome distribution in the southern Andes. *Journal of Biogeography*, 49(2), 389–404.

Troncoso, R., Dauré Bahamondes, C., Marchant, C., & Monje, Y. (2021). El mapeo como práctica en la investigación-acción para visibilizar las actividades extractivas y sus impactos en la Región de Los Ríos. En C. Alistar, X. Cuadra, D. Julián-Vejar, B. Pantel, & C. Ponce (Eds.) *Cuestionamientos al modelo extractivista neoliberal desde el sur : Capitalismo, territorios y resistencias* (pp. 217–239). Ariadna Ediciones.

Urbina, C. M. X. (2011). Análisis histórico-cultural del alerce en la Patagonia septentrional occidental, Chiloé, siglos XVI al XIX. *Magallania*, 39(2), 57–73.

Valderrama Hernández, R. (2014). Diagnóstico participativo con cartografía social: Innovaciones en metodología Investigación-Acción Participativa (IAP). ANDULI, *Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, 12, 53–65.

Valdés, C. (2014). Por un paisaje nacional: La montaña como imagen de Chile en la pintura del siglo XIX. En A. Borsdorf, R. Sánchez, R. Hidalgo, & H. Zunino (Eds.), *Los riesgos traen oportunidades: Transformaciones globales en los Andes sudamericanos* (pp. 109–126).

Varas-Myrik, L., et al. (2022). Predicting climate change-related genetic offset in endemic trees of southern Chile. *Forest Ecology and Management*, 506, 119856.

Vargas-Payera, S., Martínez-Reyes, A., & Ejderyan, O. (2020). Factors and dynamics of the social perception of geothermal energy: Case study of the Tolhuaca exploration project in Chile. *Geothermics*, 88, 101907.

Vergara, J. I., & Mellado, H. (2018). La violencia política estatal contra el pueblo-nación mapuche durante la conquista tardía de la Araucanía y el proceso de radicación (Chile, 1850–1929). *Diálogo Andino*, 55, 5–17.

Villalobos, A., Easton, G., Maksymowicz, A., Ruiz, S., Lastras, G., De Pascale, G. P., & Agurto-Detzel, H. (2020). Active faulting, submarine surface rupture, and seismic migration along the Liquiñe-Ofqui Fault System, Patagonian Andes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(9), e2020JB019946.

Wrage, J., Tardani, D., Reich, M., Daniele, L., Arancibia, G., Cembrano, J., ... Pérez-Moreno, R. (2017). Geochemistry of thermal waters in the Southern Volcanic Zone, Chile: Implications for structural controls on geothermal fluid composition. *Chemical Geology*, 466, 545–561.

Zabert, I., Benítez, S., & Zabert, G. E. (2019). Impacto respiratorio de la exposición aguda a cenizas volcánicas en la Patagonia Argentina: Un estudio transversal. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 19(2), 112–118.

En el libro *Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile: Territorio de montaña de relevancia científica mundial*, la ciencia y la naturaleza convergen para revelar las singularidades de un territorio vivo. Esta obra presenta una mirada interdisciplinaria sobre uno de los sistemas socioecológicos más diversos y dinámicos del país: la montaña. A lo largo de diez capítulos, el libro profundiza en elementos clave como el arco volcánico activo, las fallas geológicas, los sistemas termales, las reservas de agua dulce y la invaluable biodiversidad de los bosques templados. Asimismo, incorpora perspectivas históricas y sociales que permiten comprender las formas de vida y las dinámicas territoriales de las comunidades que habitan este espacio.

Desarrollado por investigadores de múltiples disciplinas y respaldado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), este libro ofrece una síntesis actualizada del conocimiento científico sobre la región. Es una obra imprescindible para investigadores, tomadores de decisiones y cualquier persona apasionada por la montaña, demostrando por qué los Andes del sur son un laboratorio natural de impacto planetario.

